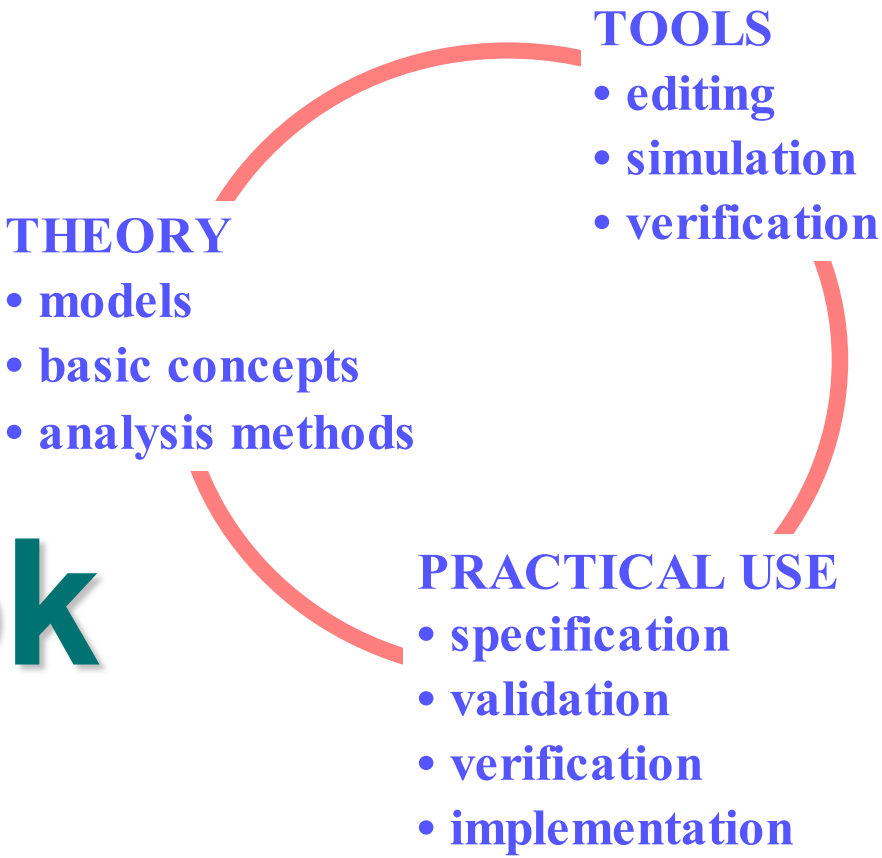
Színezett Petri-hálók



© Kurt Jensen (részlet)

Fordította: Erdélyi Árpád

Department of Computer Science
Aarhus Egyetem, Dánia

kjensen@daimi.au.dk

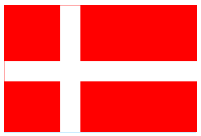
Mi is az a Színezett Petri háló?

- *Modellező nyelv rendszerekhez, ahol szinkronizáció, kommunikáció, és erőforrás megosztás* fontos.

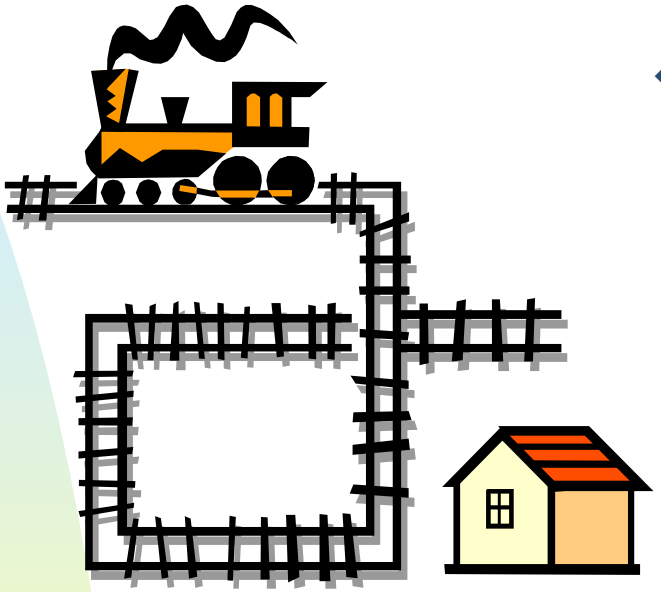
- Egyben *Petri Háló* és *Programozási Nyelv*.
  - ***A vezérlési struktúrát***, ***szinkronizációt***, ***kommunikációt***, és az ***erőforrás megosztást*** a Petri háló írja le.
  - ***Az adatokért*** és az ***adat kezelésért*** a (Standard ML) funkcionális programozási nyelv a felelős.

- CPN modelleknél *validálás* alatt *szimulációt* értünk, *verifikálás* alatt pedig ***állapotteret*** és ***állapot-invariánsokat***.

- *Dániában* az ***Aarhus egyetemen*** már közel 25 éve kutatják a Színezett Petri hálókat.



Miért készítünk modelleket?



- A *modellezés* célja:
  - *Új dolgokat ismerhessünk meg* a rendszerről.
  - A rendszerrel szemben támasztott *követelmények* teljesülésének ellenőrzése.

- CPN modellek *dinamikusak*, azaz *végrehajthatóak:*
  - *Futtathatóak* számítógépen.
  - *Forgatókönyvek* lejátszására van lehetőség.

Magas-szintű Petri-hálók

- A *CP-háló* és a *normál Petri-háló* közti kapcsolat hasonló a *magas-szintű programozási nyelvek* és az *assembly kód* kapcsolatához.
  - Elméletben a két szint kifejezőereje azonos.
  - Gyakorlatban a magas szintű nyelvek sokkal nagyobb modellező erővel rendelkeznek, mivel jobbak a struktúra-leíró képességük, pl. vannak modulok, típusok.
  - Több más magas-szintű Petri háló létezik, de a *Színezett Petri-háló* a legelterjedtebb a *gyakorlatban.*

CPN-eket nagy rendszerekhez használják

- Egy CPN modell számos *alhálóból* áll.
  - Hasonlóak a *modulokhoz.*
  - Jól-defininált *interfészek* és tiszta *szemantika.*
- A CPN tipikus *ipari alkalmazása*:
  - 10-200 alháló.
  - 50-1000 hely és tranzíció.
  - 10-200 típus.
- Ilyen méretű ipari alkalmazások *elképzelhetetlenek* ezek nélkül:
  - Adattípusok és token értékek.
  - Modulok.
  - Modellező eszköz támogatás.

Felhasználási területek

Protokollok és Hálózatok

- Intelligent Networks at Deutsche Telekom
- IEEE 802.6 Configuration Control at Telstra Research Labs
- Allocation Policies in the Fieldbus Protocol in Japan
- ISDN Services at Telstra Research Laboratories
- Protocol for an Audio/Video System at Bang & Olufsen
- TCP Protocols at Hewlett-Packard
- Local Area Network at University of Las Palmas
- UPC Algorithms in ATM Networks at University of Aarhus
- BRI Protocol in ISDN Networks
- Network Management System at RC International A/S
- Interprocess Communication in Pool IDA at King's College

Szoftver

- Mobile Phones at Nokia
- Bank Transactions & Interconnect Fabric at Hewlett-Packard
- Mutual Exclusion Algorithm at University of Aarhus
- Distributed Program Execution at University of Aarhus
- Internet Cache at the Hungarian Academy of Science
- Electronic Funds Transfer in the US
- Document Storage System at Bull AG
- ADA Program at Draper Laboratories

Vezérlő rendszerek

- Security and Access Control Systems at Dalcotech A/S
- Mechatronic Systems in Cars at Peugeot-Citroën in France
- European Train Control System in Germany
- Flowmeter System at Danfoss
- Traffic Signals in Brazil
- Chemical Production in Germany
- Model Train System at University of Kiel

Hardver

- VLSI Chip in the US
- Arbiter Cascade at Meta Software Corp.

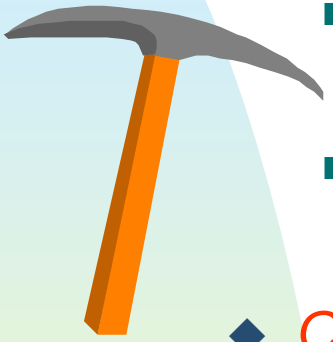
Katonai rendszerek

- Military Communications Gateway in Australia
- Influence Nets for the US Air Force
- Missile Simulator in Australia
- Naval Command and Control System in Canada

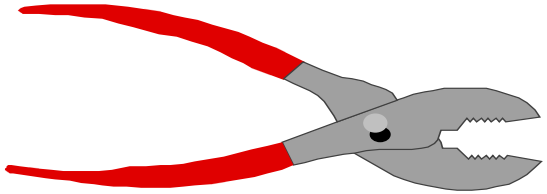
Egyéb

- Bank Courier Network at Shawmut National Coop.
- Nuclear Waste Management Programme in the US

Modellező eszközök



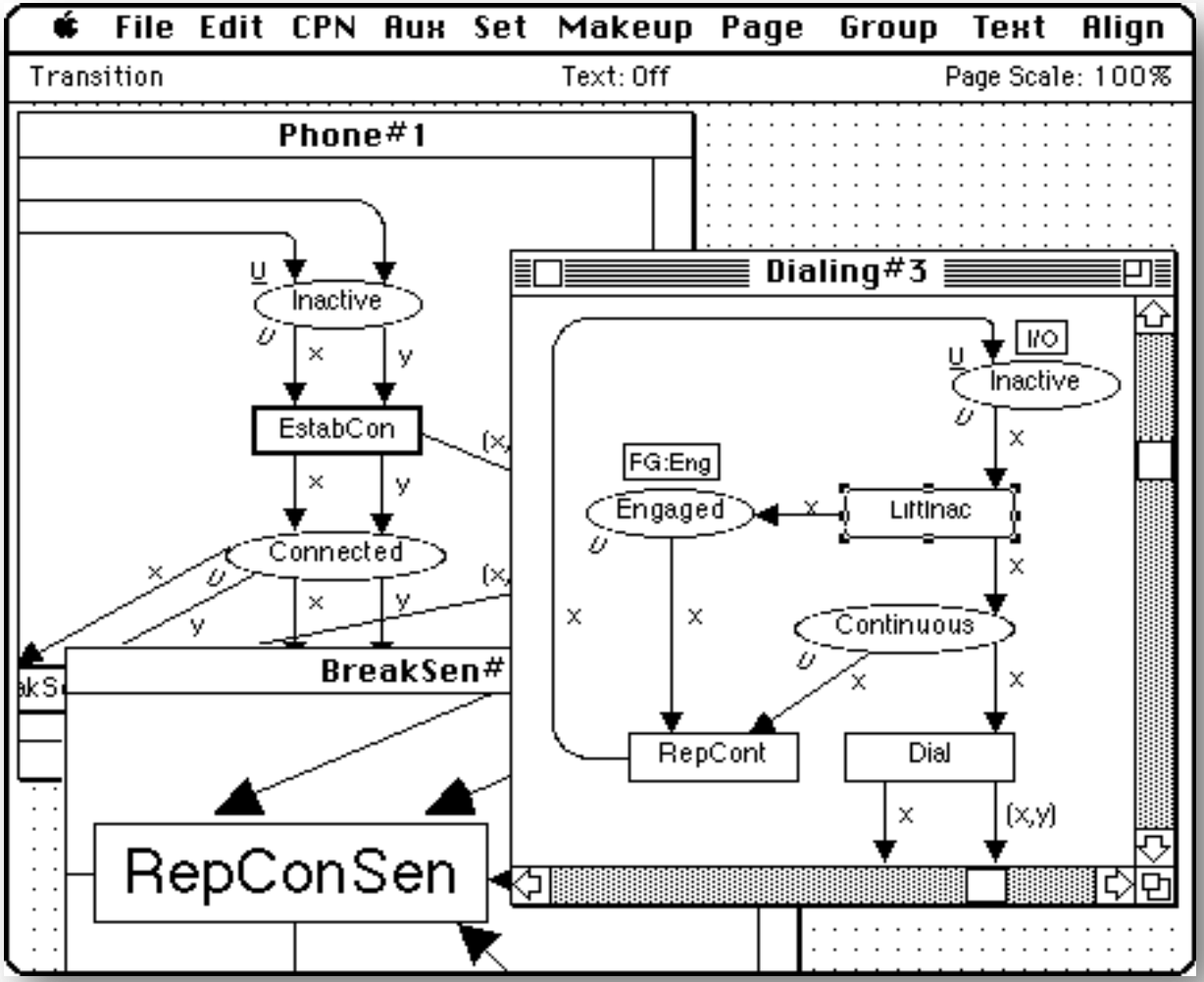
- *Design/CPN* eszközt a 80‘as évek végén és a 90‘as évek elején fejlesztették ki.
  - A maga idejében a legelterjedtebb Petri háló csomag volt.
  - *750 különböző szervezet 50 országban használta* – ezek között *200 kereskedelmi cég van.*
- *CPN Tools* már egy második generációs eszköz a Színezett Petri-hálókhoz.
  - Mára a CPN Tools *átvette a Design/CPN helyét*
  - A fejlesztés *1999-ben kezdődött* és több, mint *20 mérnökév* munka van benne.



Standard ML

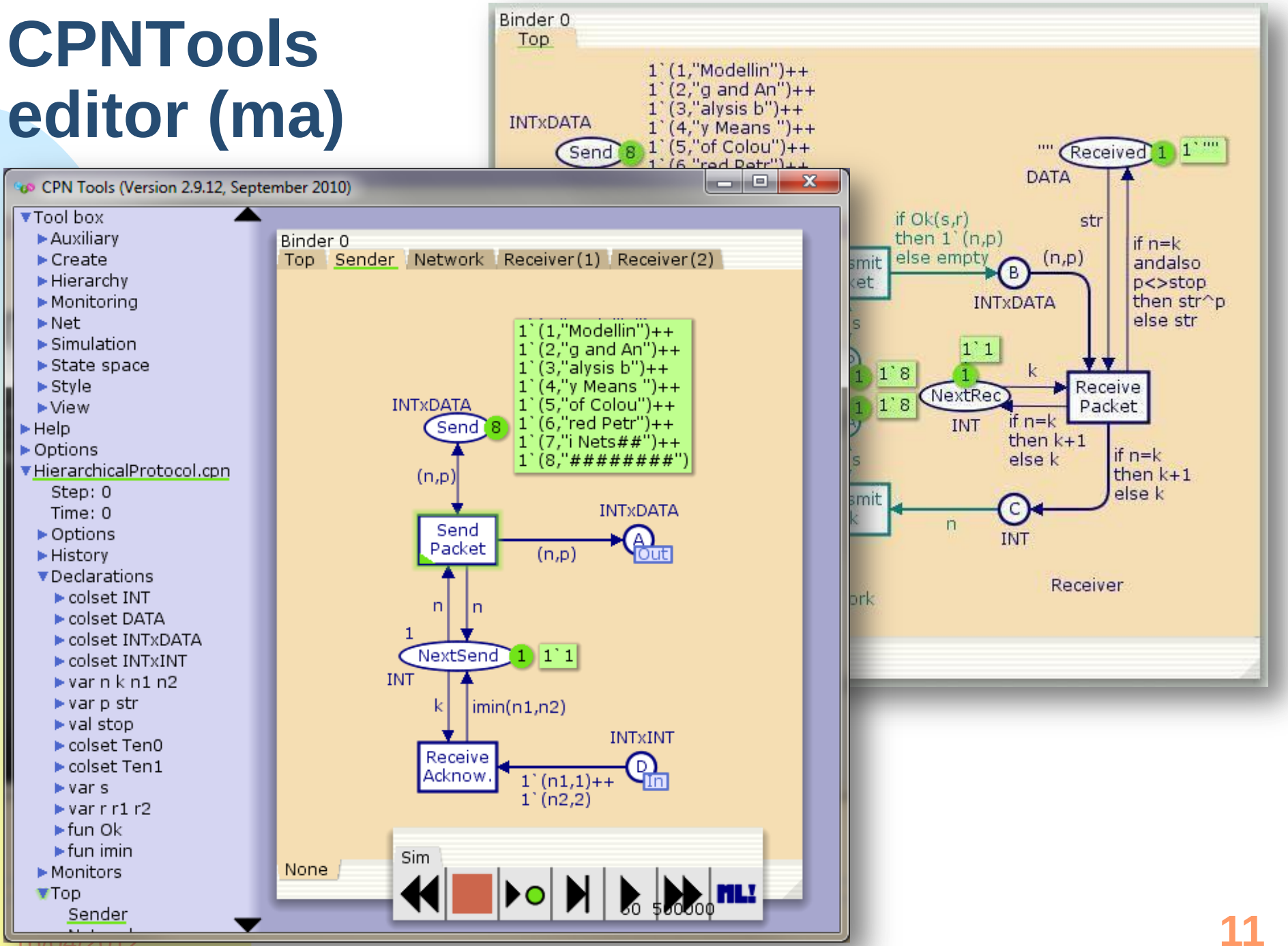
- A típusok, élkifejezések és őrfeltételek *Standard ML-ben* adhatók meg. Ez egy erősen típusos, funkcionális programozási nyelv (*Robin Milner* fejlesztette).
- *Adattípus lehet*:
  - *Atomi* (integer, string, boolean és felsorolás).
  - *Strukturált* (products, record, union, list és subsets).
- Tetszőlegesen bonyolult *függvényeket* és *műveleteket* lehet definiálni benne (pl. polimorfizmus).
- A Standard ML jól-ismert, tesztelt és nagyon általános. Számos *irodalma* van.

Design/CPN editor (egykor)

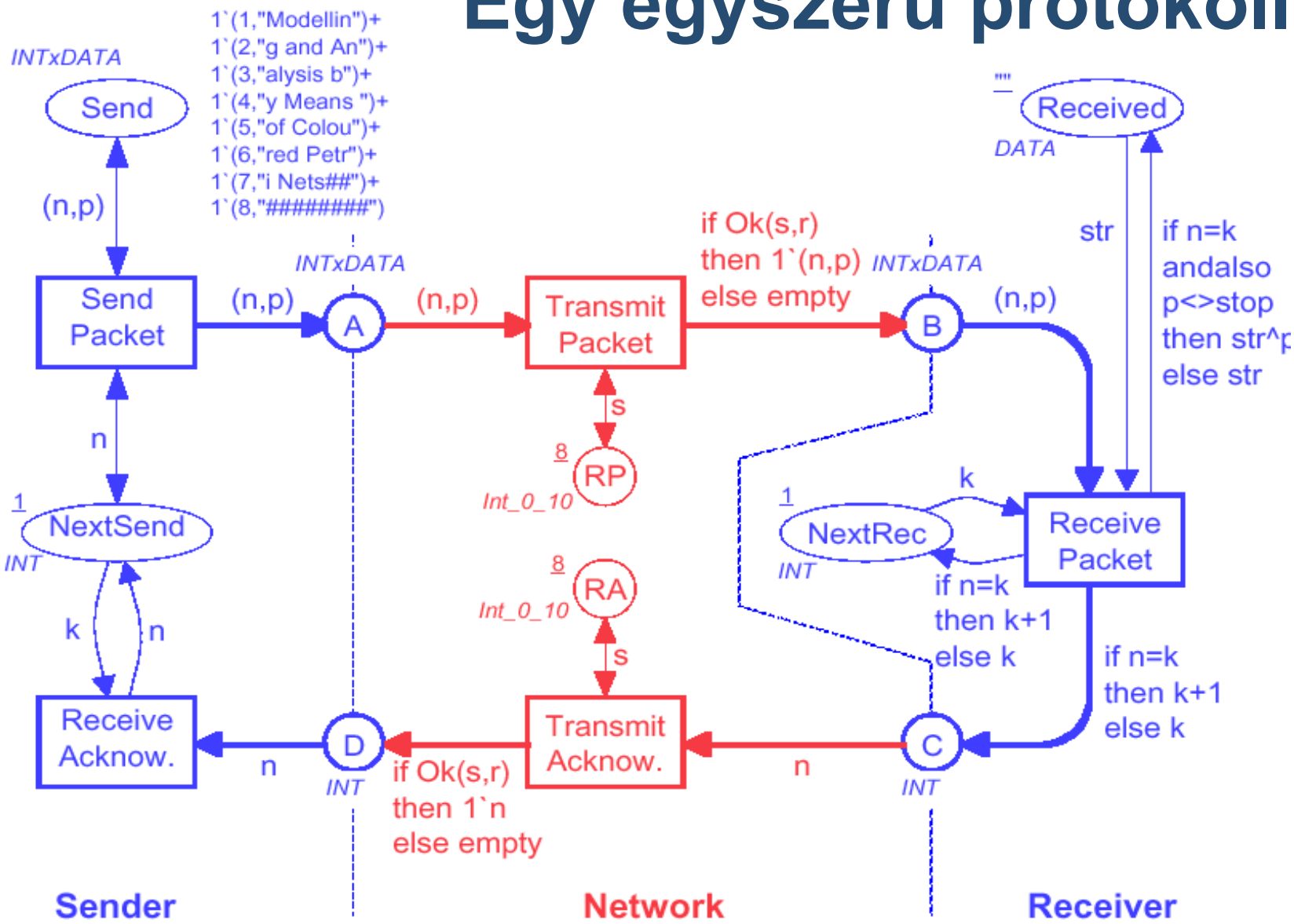


- *WYSIWYG felületről* könnyen módosíthatni tudjuk a modellünket.
- *Szintakszis-vezérelt* – sok *szintaktikai hiba* kiküszöbölhető.

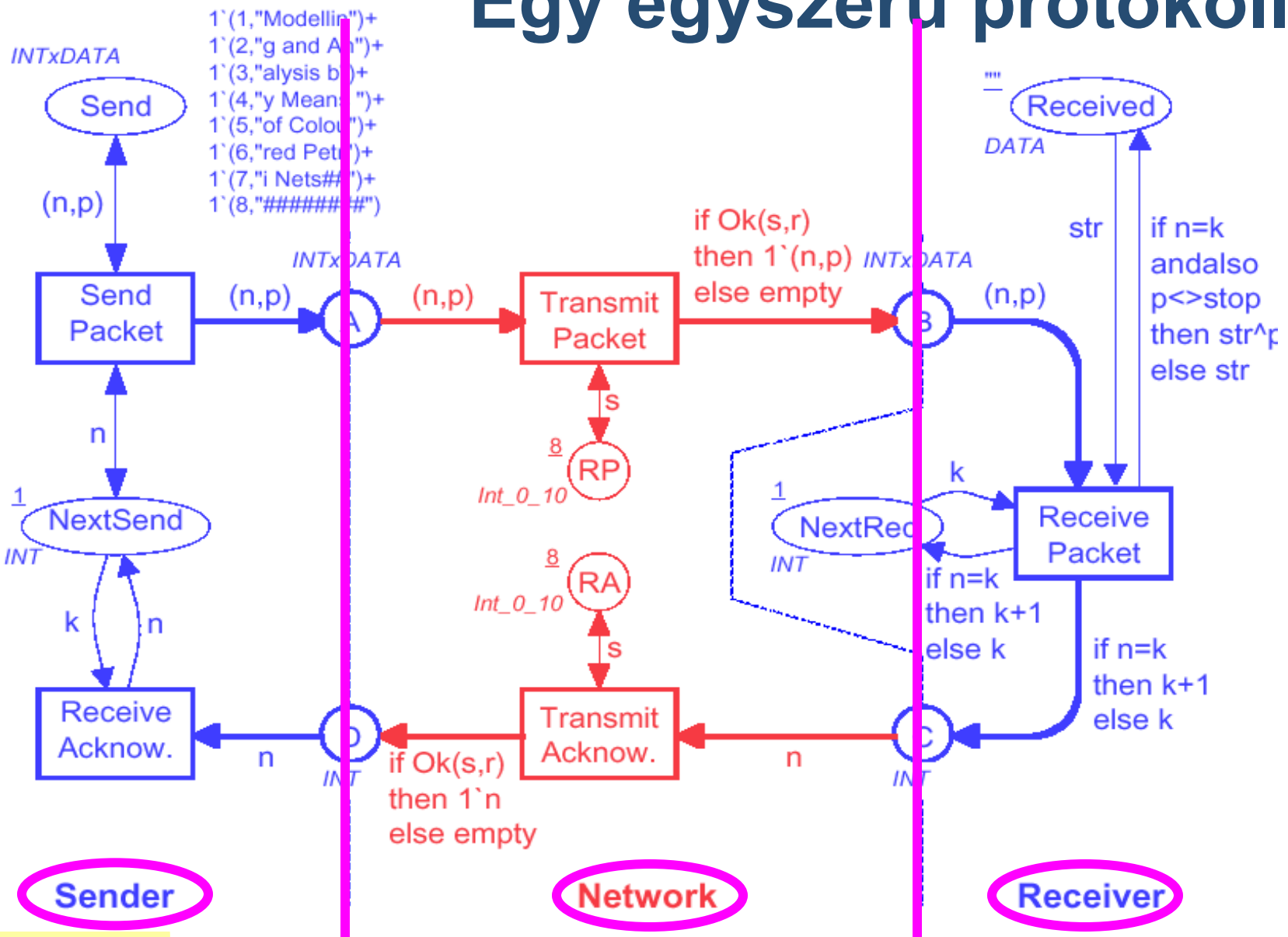
CPNTools editor (ma)



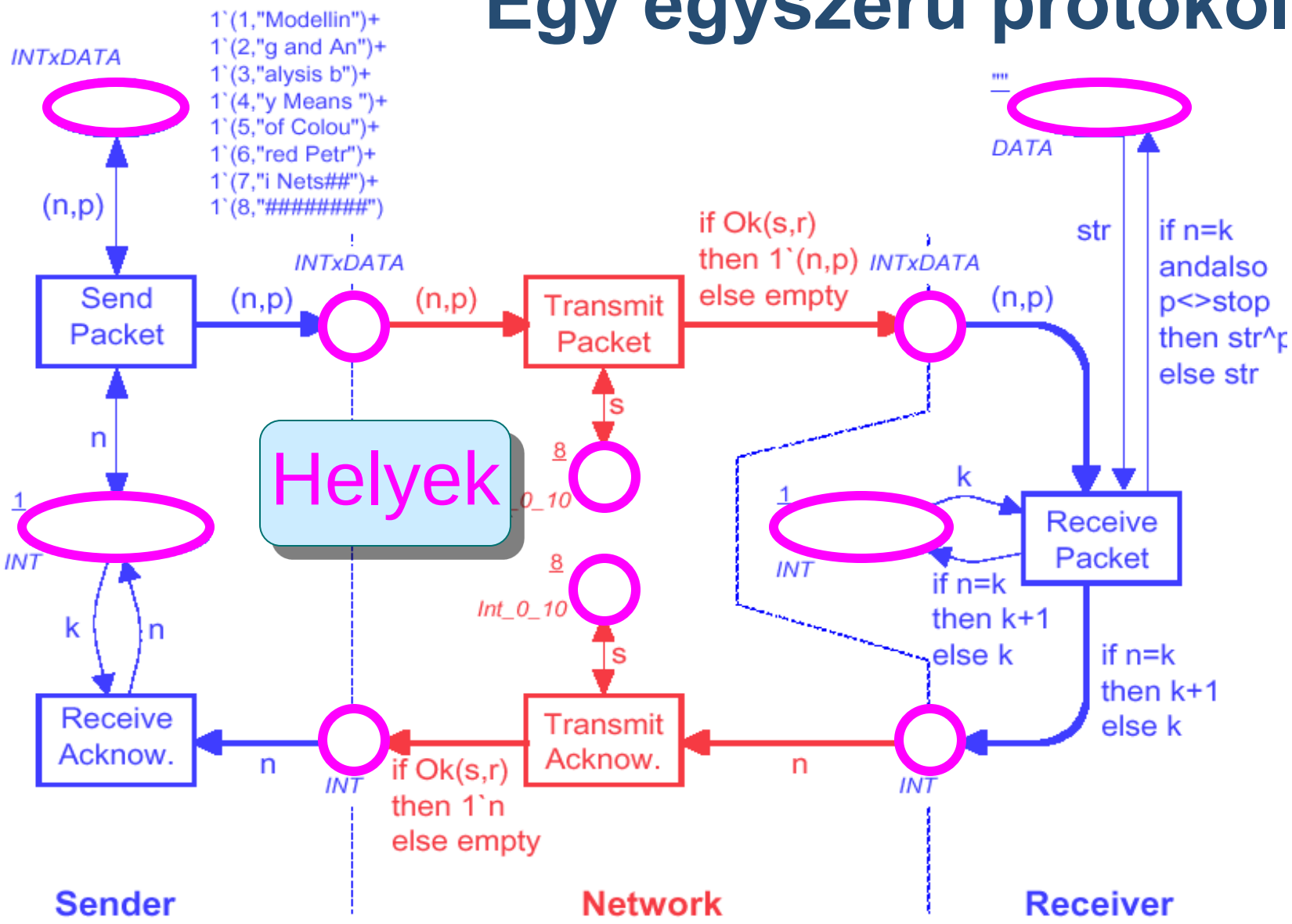
Egy egyszerű protokoll



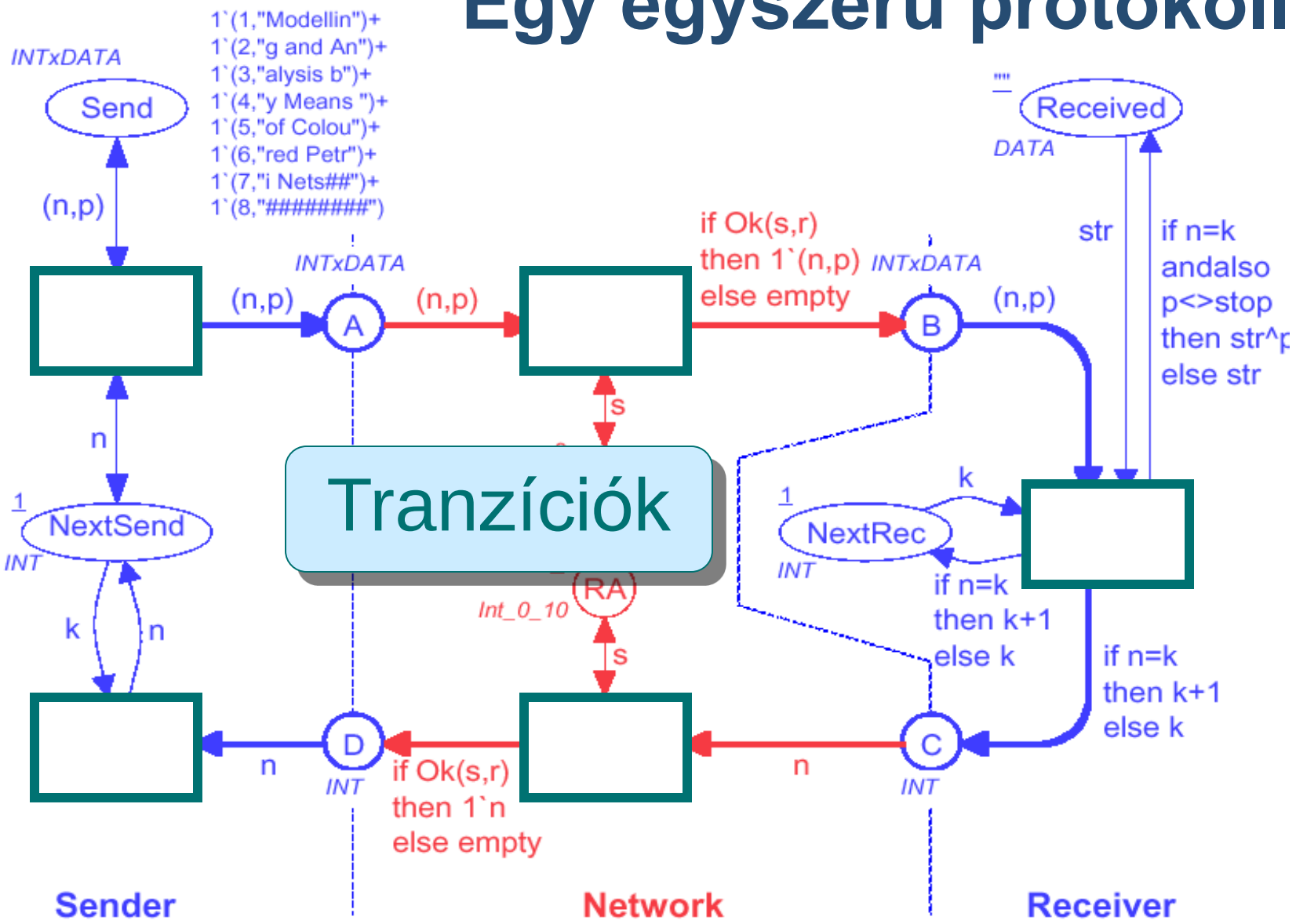
Egy egyszerű protokoll



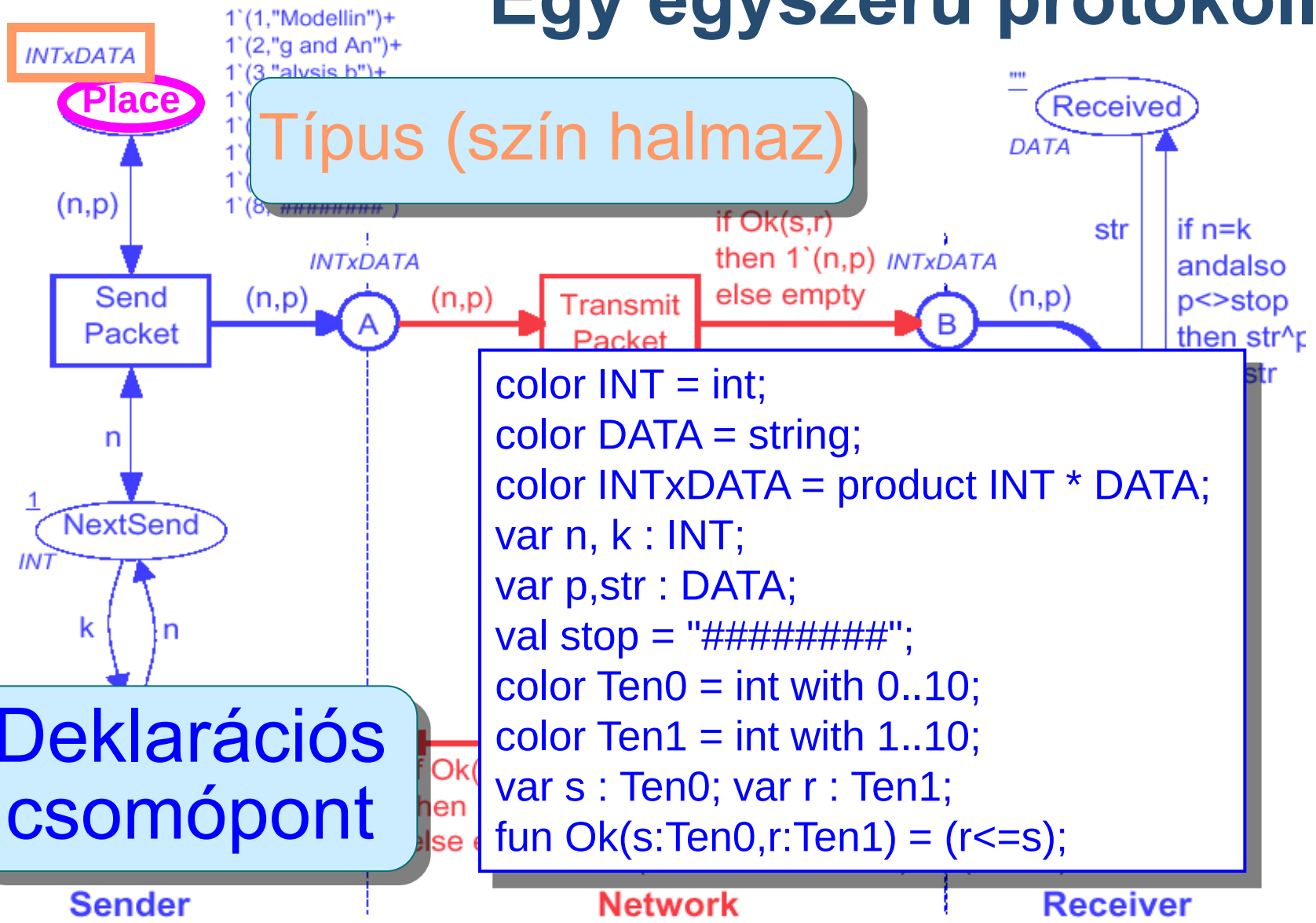
Egy egyszerű protokoll



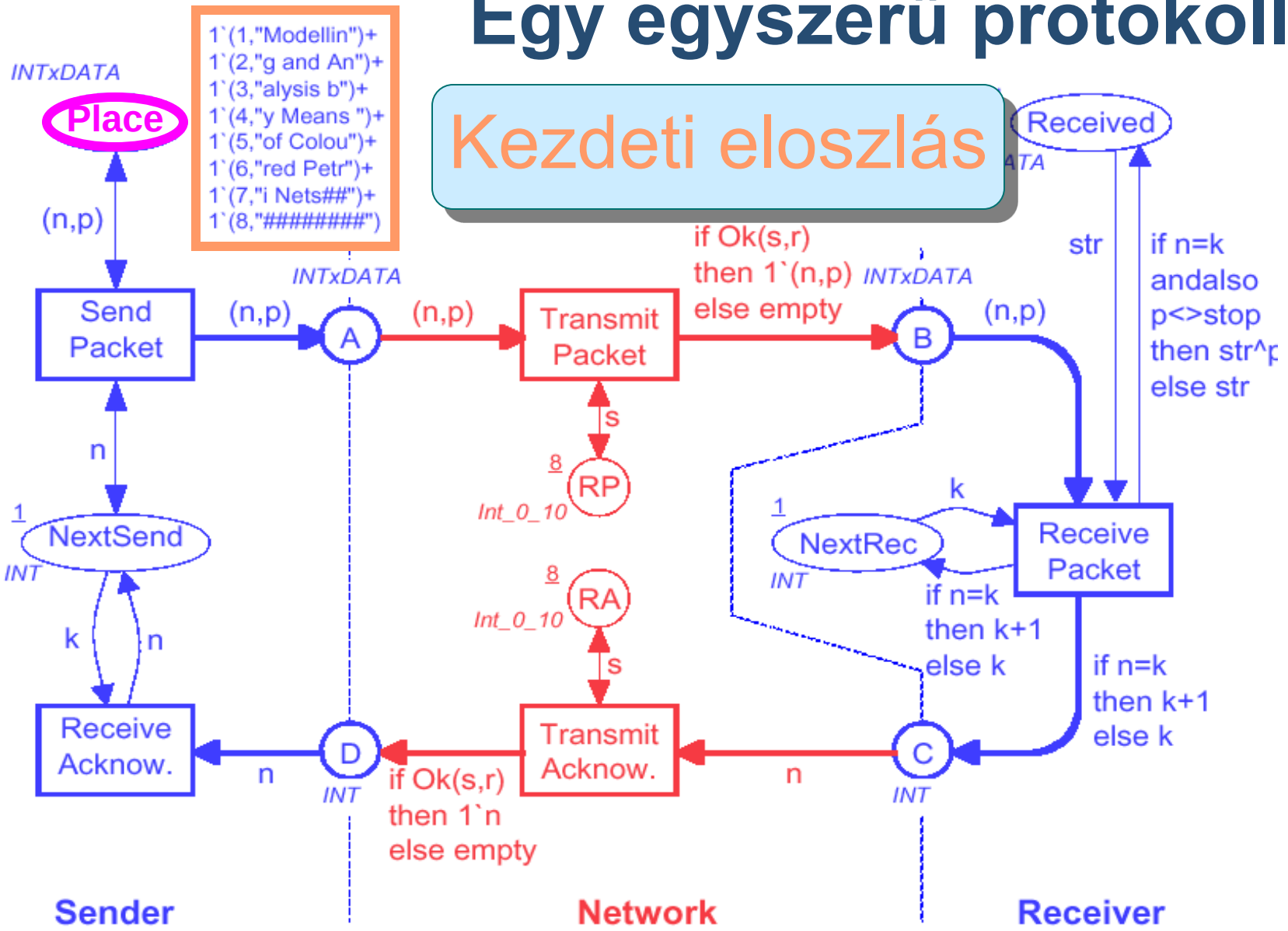
Egy egyszerű protokoll



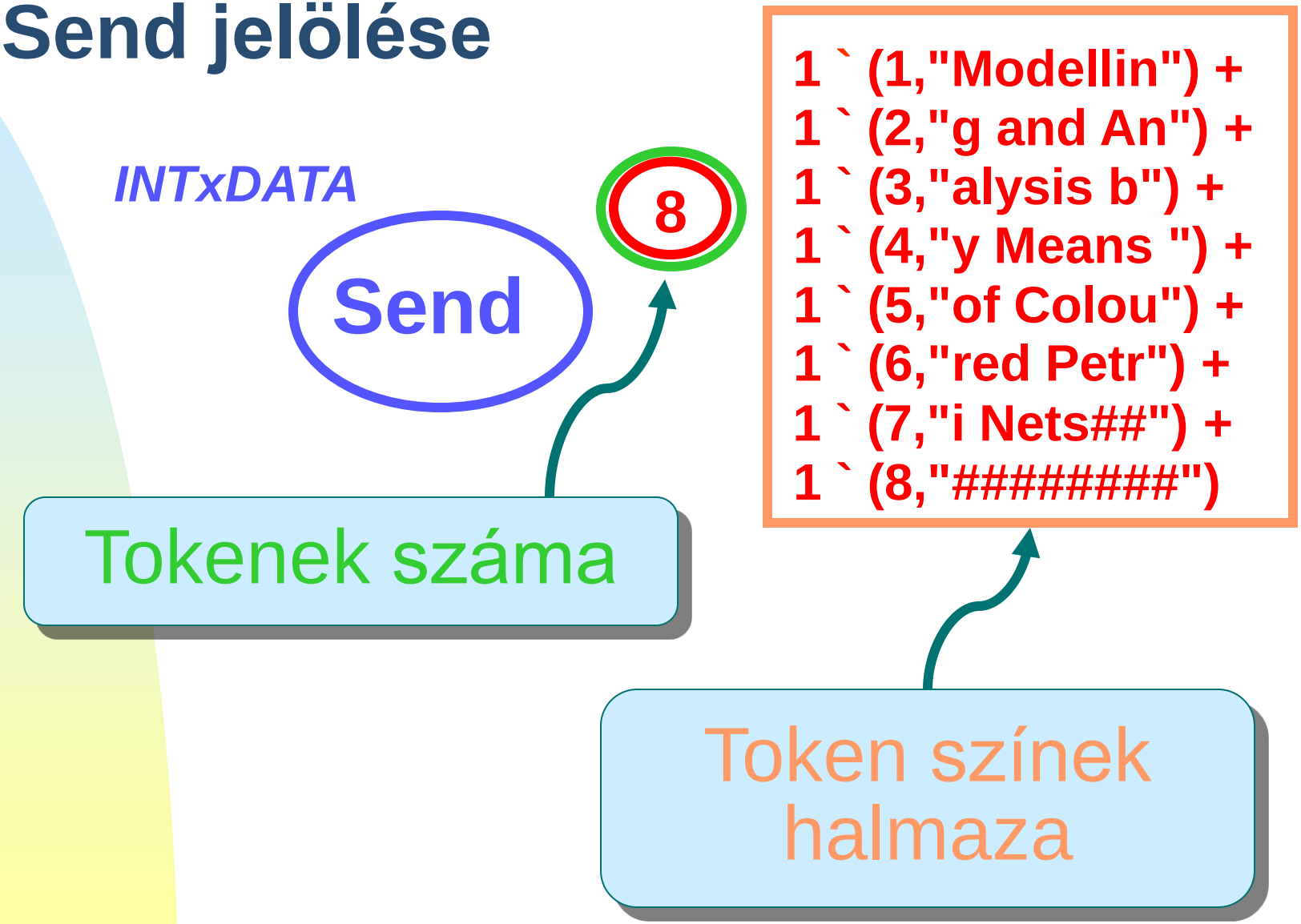
Egy egyszerű protokoll



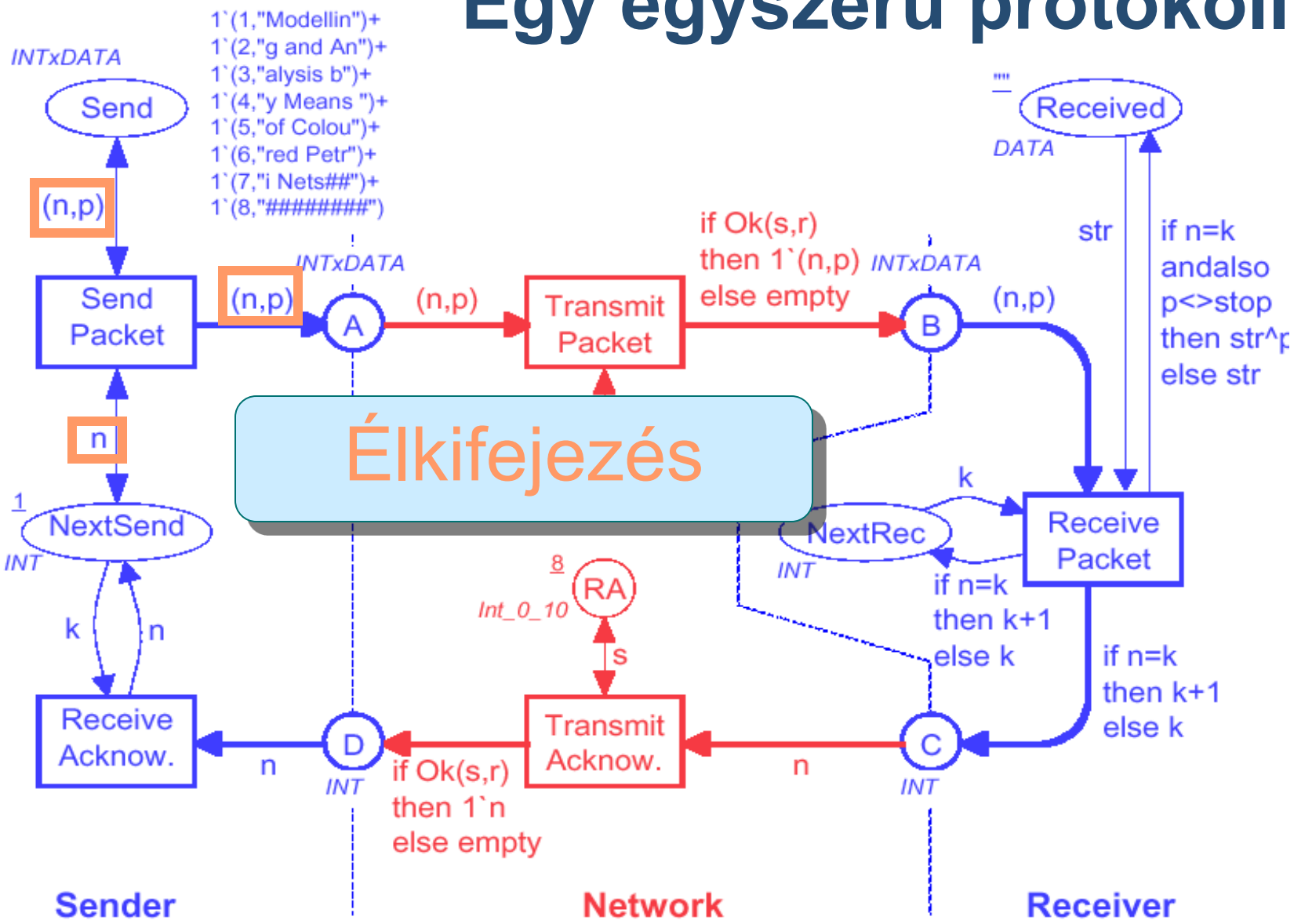
Egy egyszerű protokoll



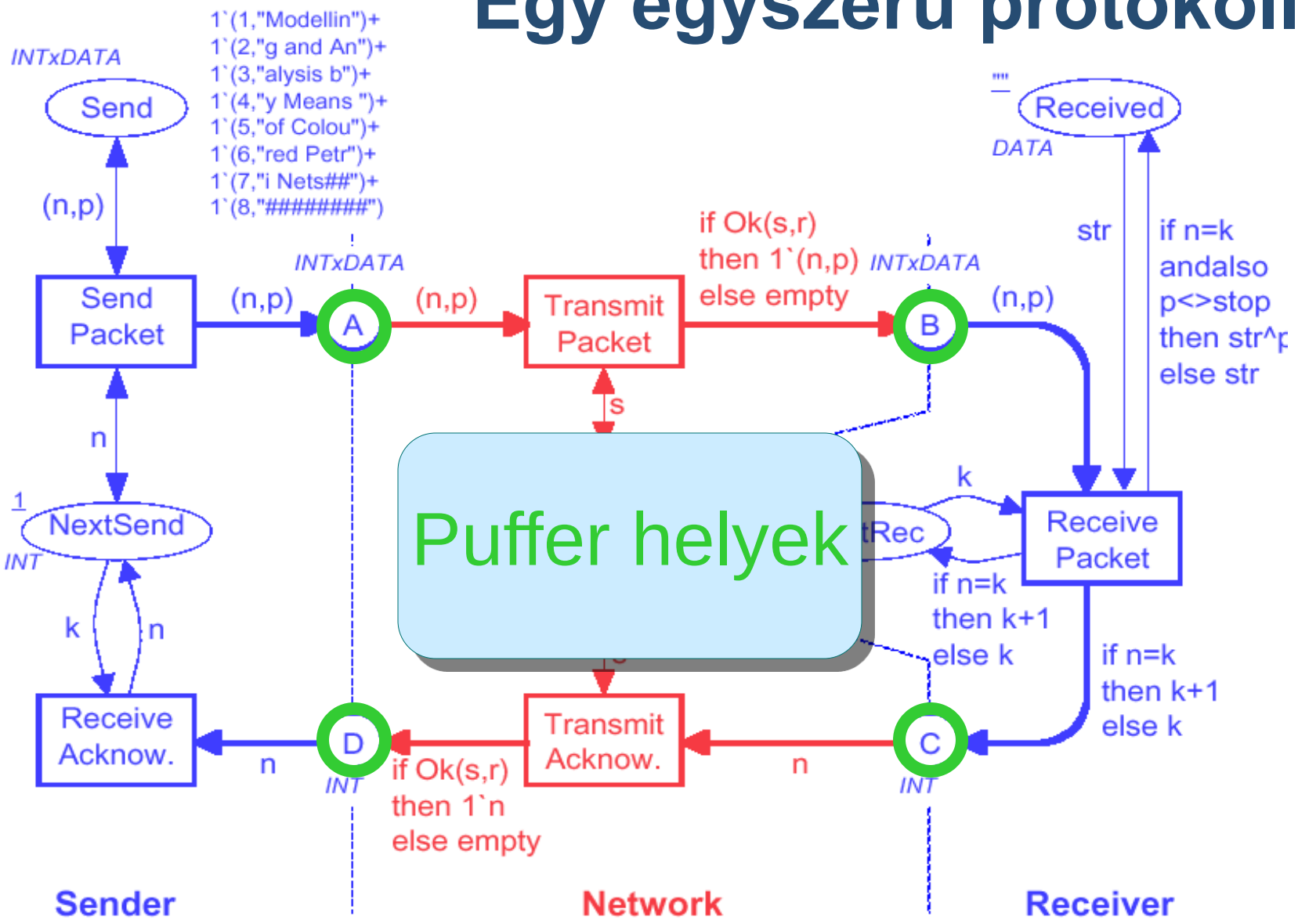
Send jelölése



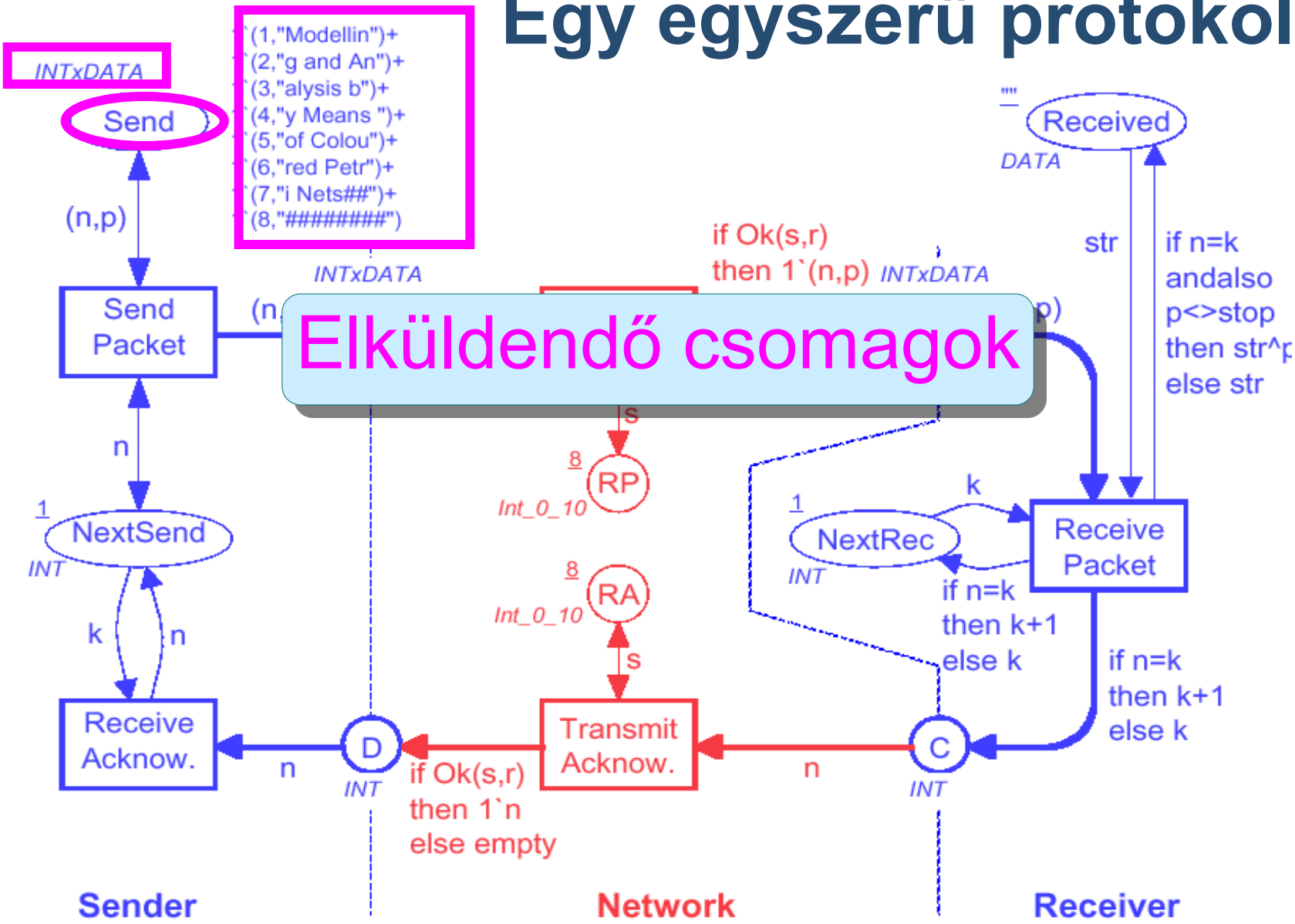
Egy egyszerű protokoll



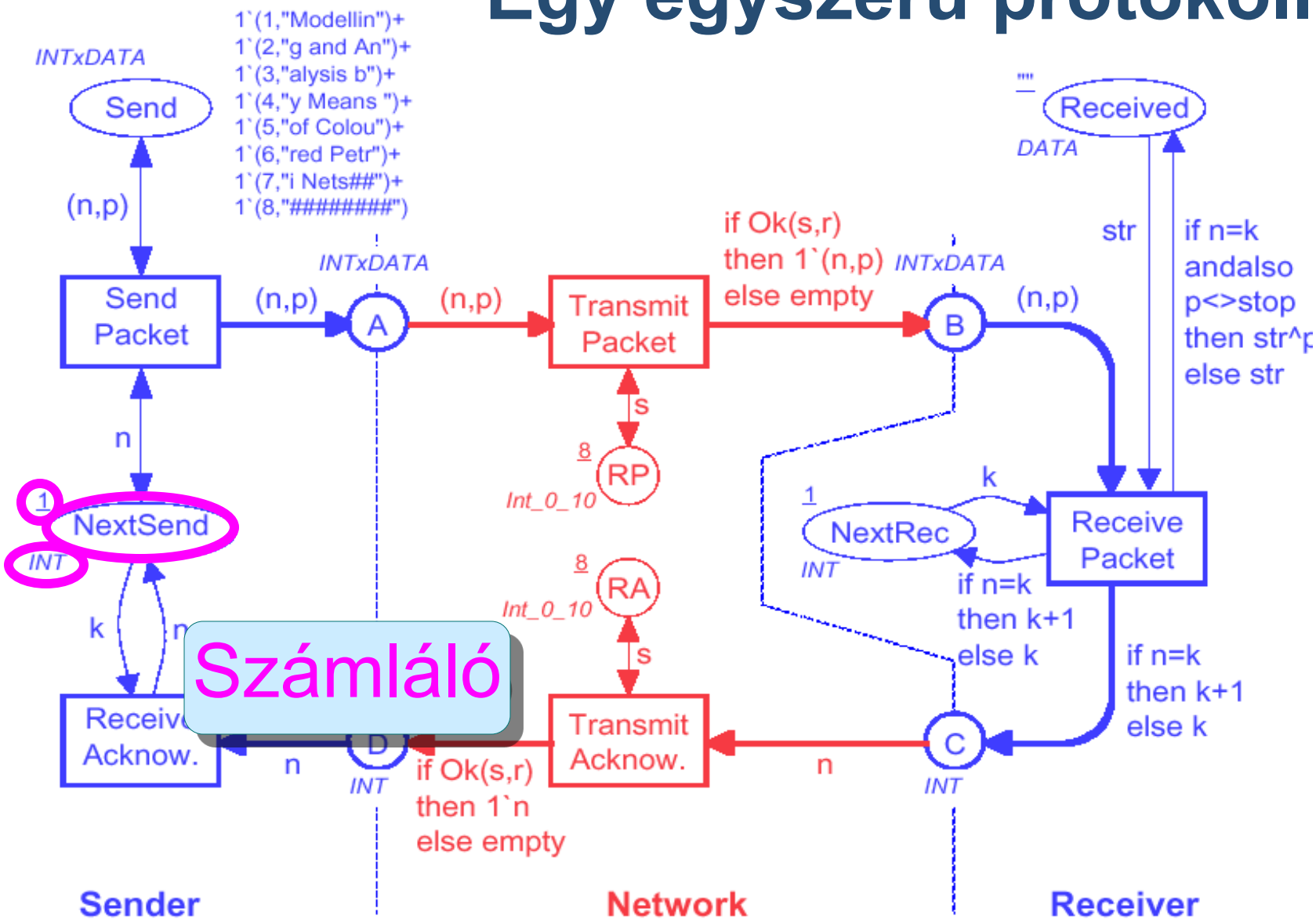
Egy egyszerű protokoll



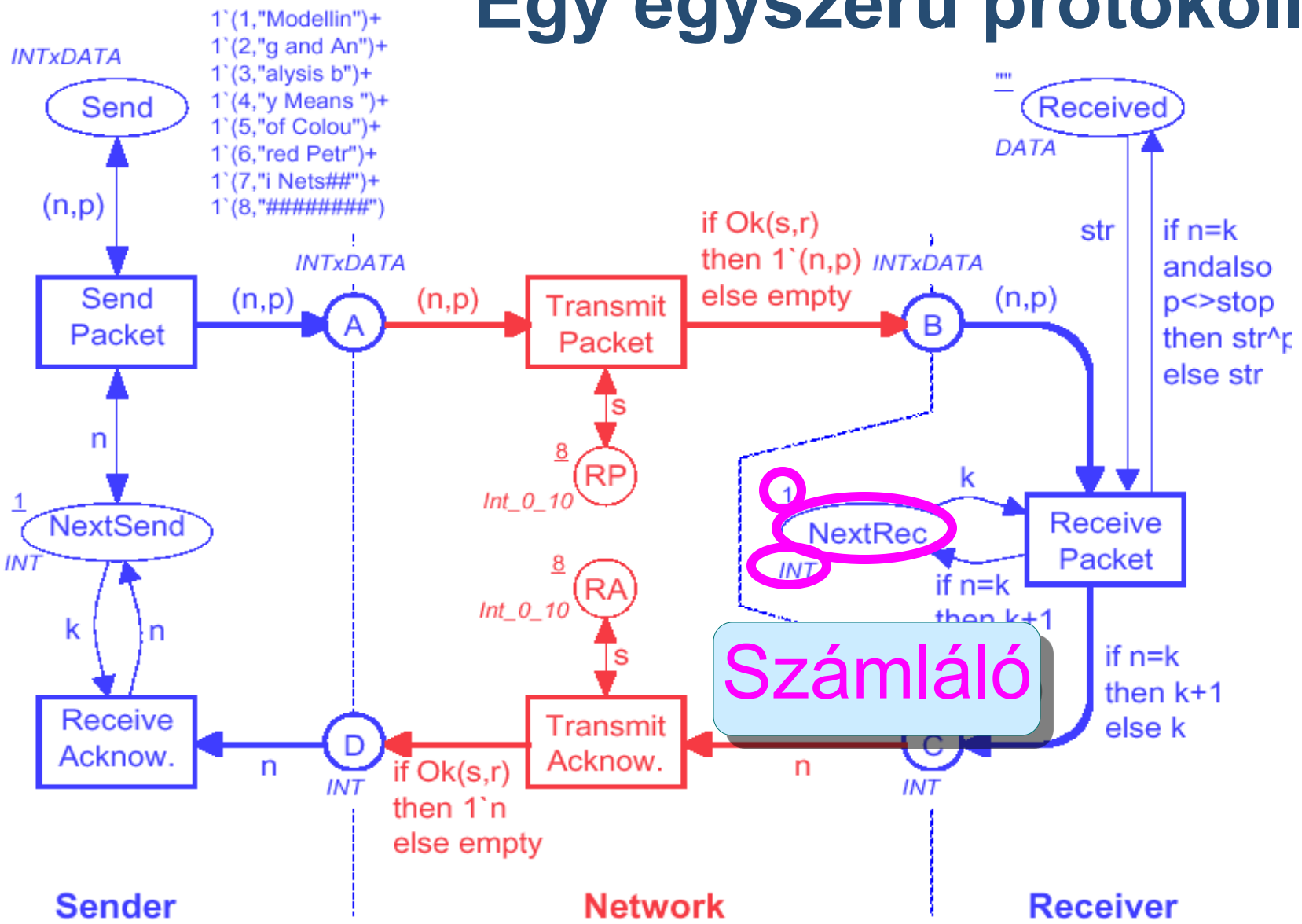
Egy egyszerű protokoll



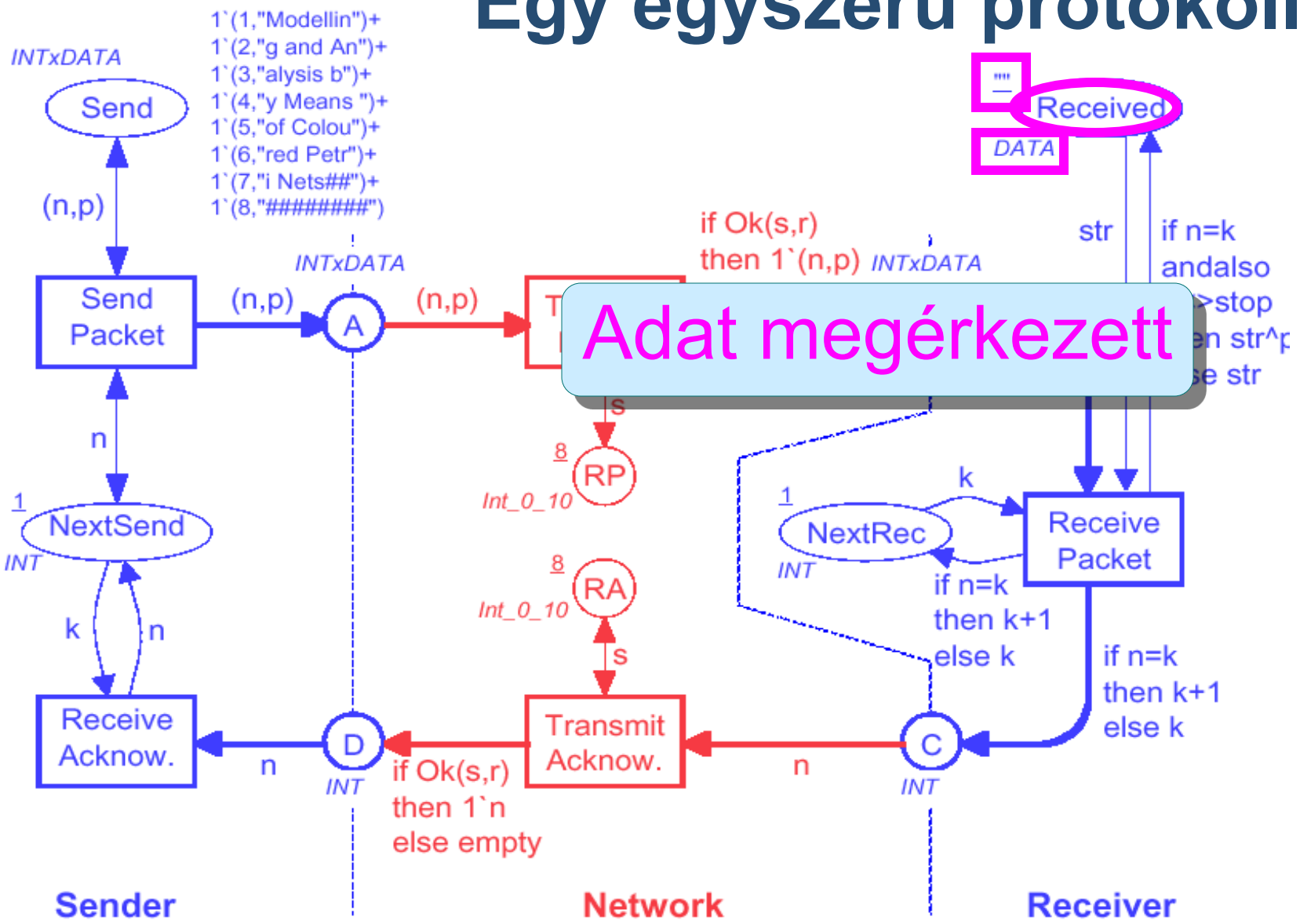
Egy egyszerű protokoll



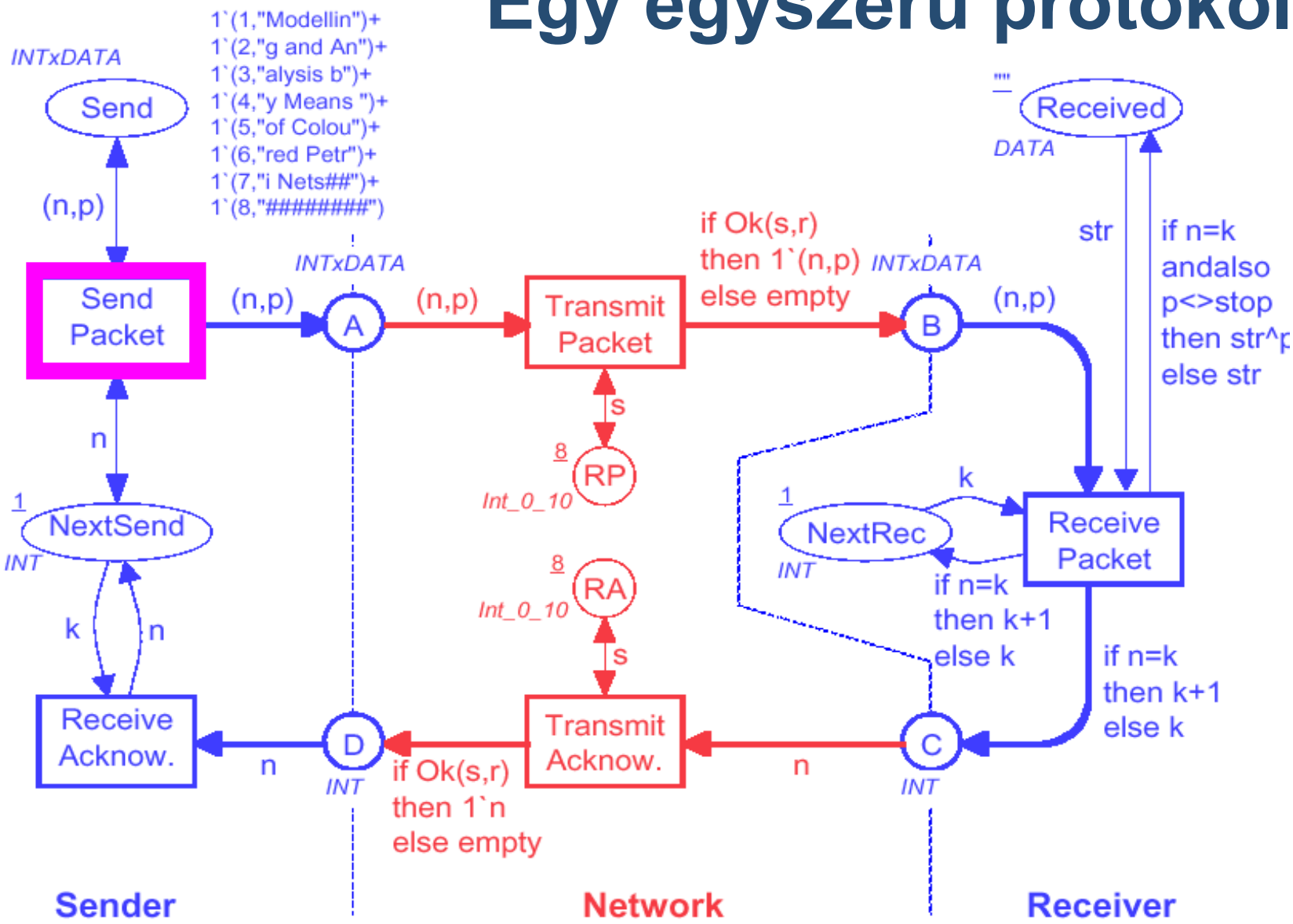
Egy egyszerű protokoll



Egy egyszerű protokoll



Egy egyszerű protokoll

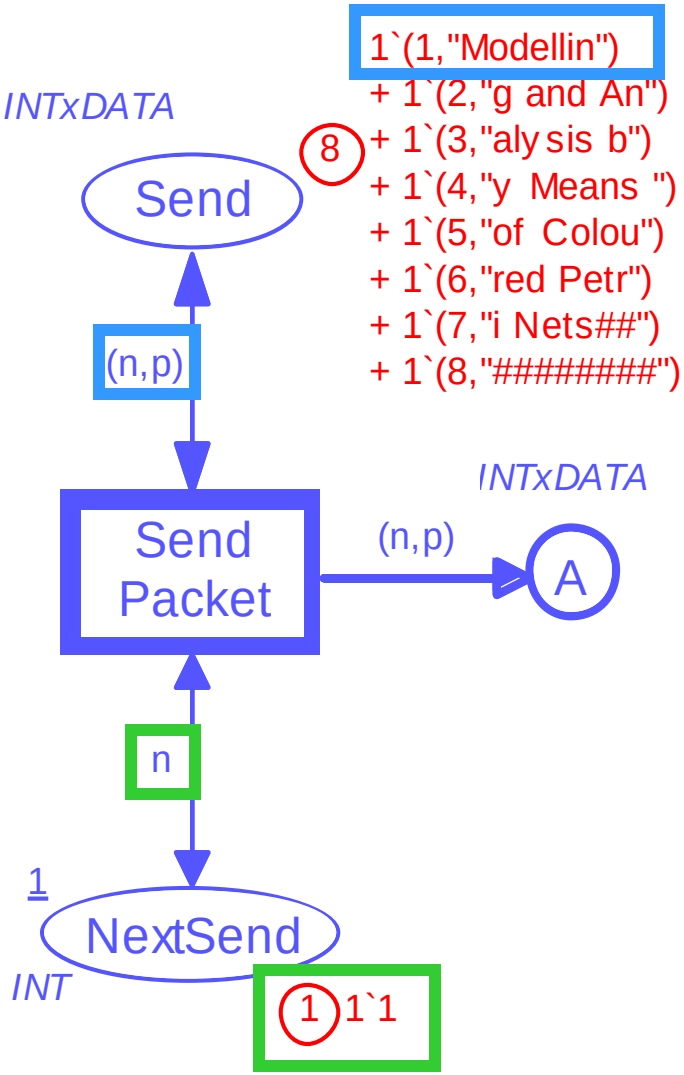


Csomagküldés

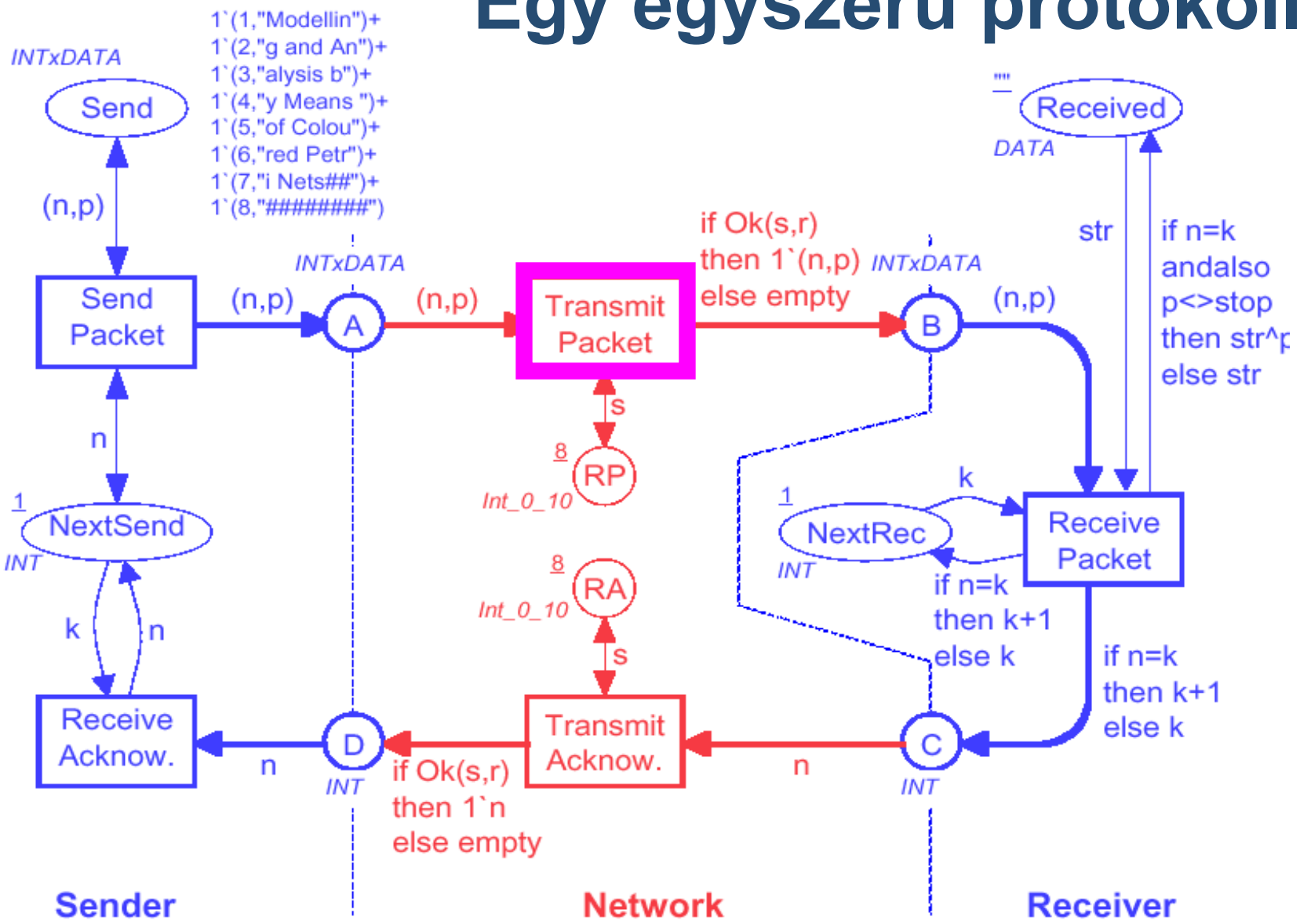
- Csak a

  <n=1,p="Modellin">

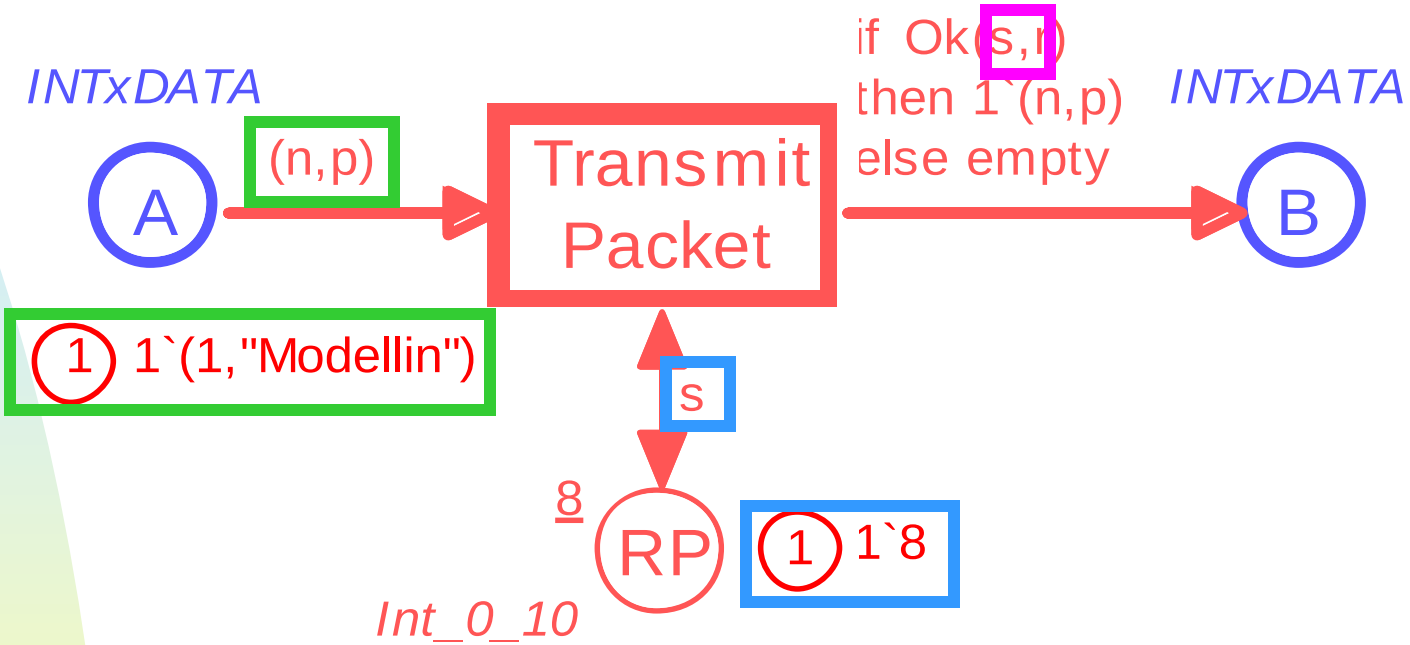
  pár *engedélyezett.*
- Ha található ilyen pár, akkor a *Send Packet* elküldi azt *A-nak*.
- Ez azt jelenti, hogy (1,"Modellin")-t elküldtük a hálózaton.
- A csomag nem törlődik a *Send* helyről és a *NextSend* sem változik.



Egy egyszerű protokoll



Csomag átvitele



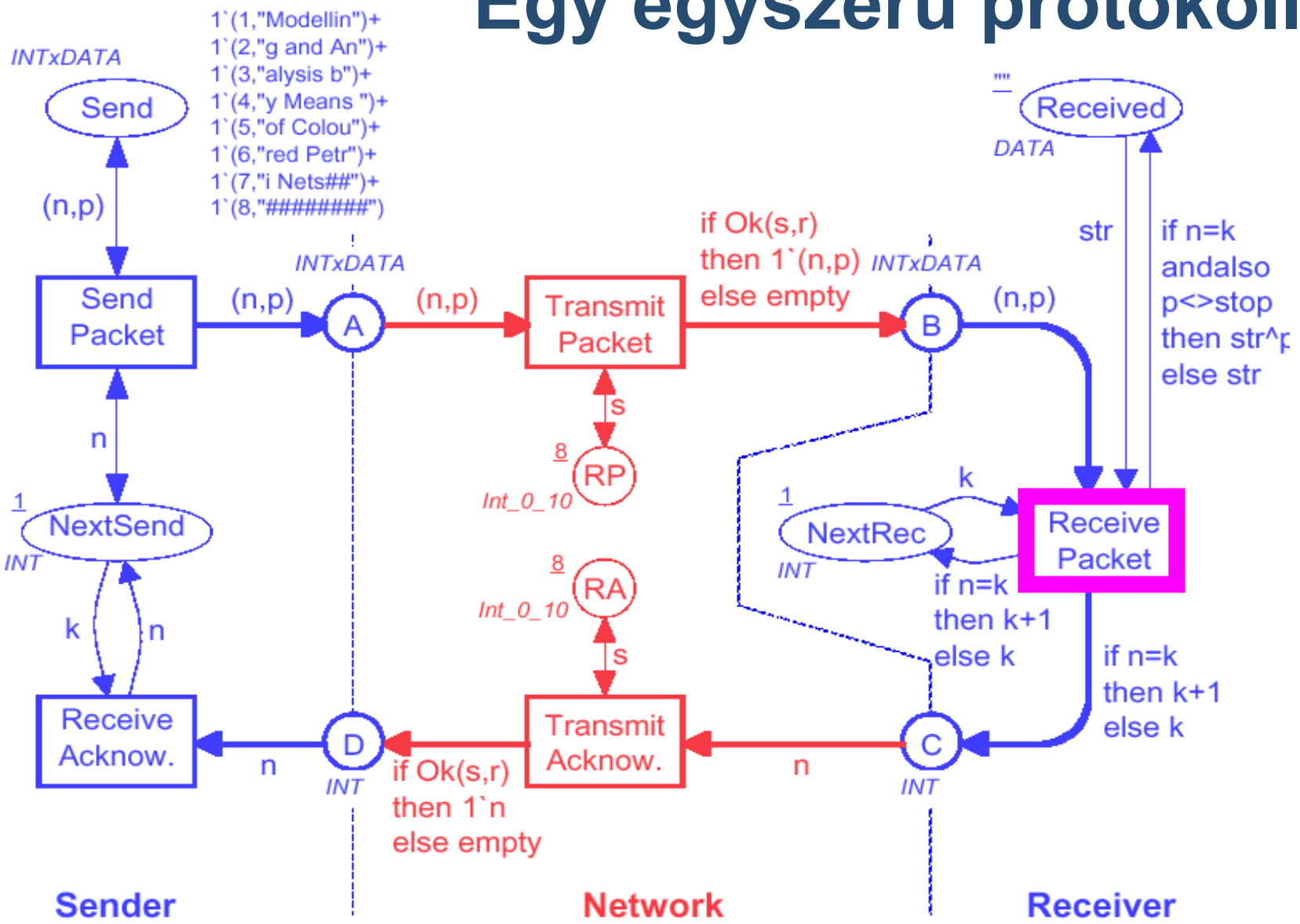
- Az engedélyezett pár így néz ki:
  - <n=1,p= "Modellin",s=8,r=...>
  - Típus: r ∈1. .10

Csomagvesztés

```
if Ok(s,r)
then 1`(n,p)
else empty
```

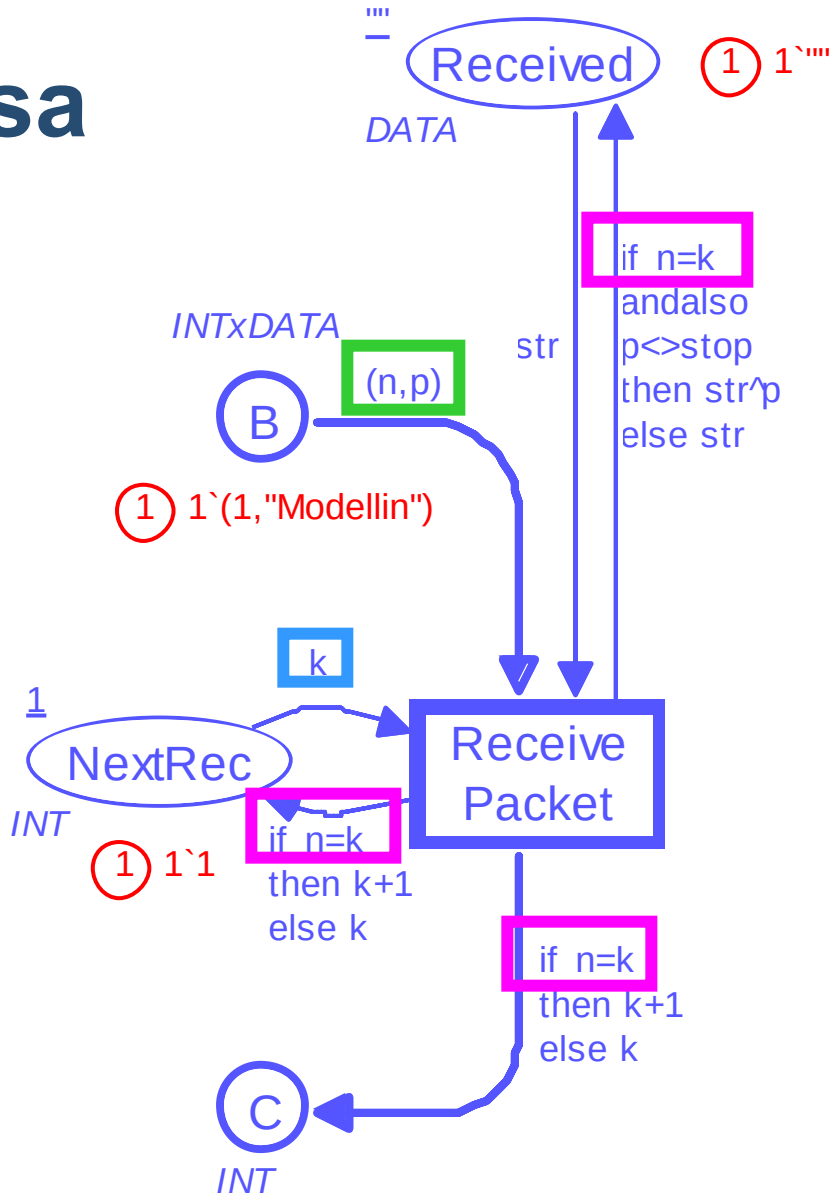
- A Ok(s,r) *függvény* ellenőrzi, hogy r ≤ s
  - For r ∈1. .8,*Ok(s,r)=true*.
    A tokent A-ból B-be tesszük. Ez azt jelenti, hogy a csomag *sikeresen átment* a hálózaton.
  - For r ∈ 9. .10,*Ok(s,r)=false.*
    Ekkor B-be nem került token. Ekkor *veszett el* a csomag.
- A CPN szimulátor *véletlenül választja* ki a párokat: 80% eséllyel sikeresen.

Egy egyszerű protokoll



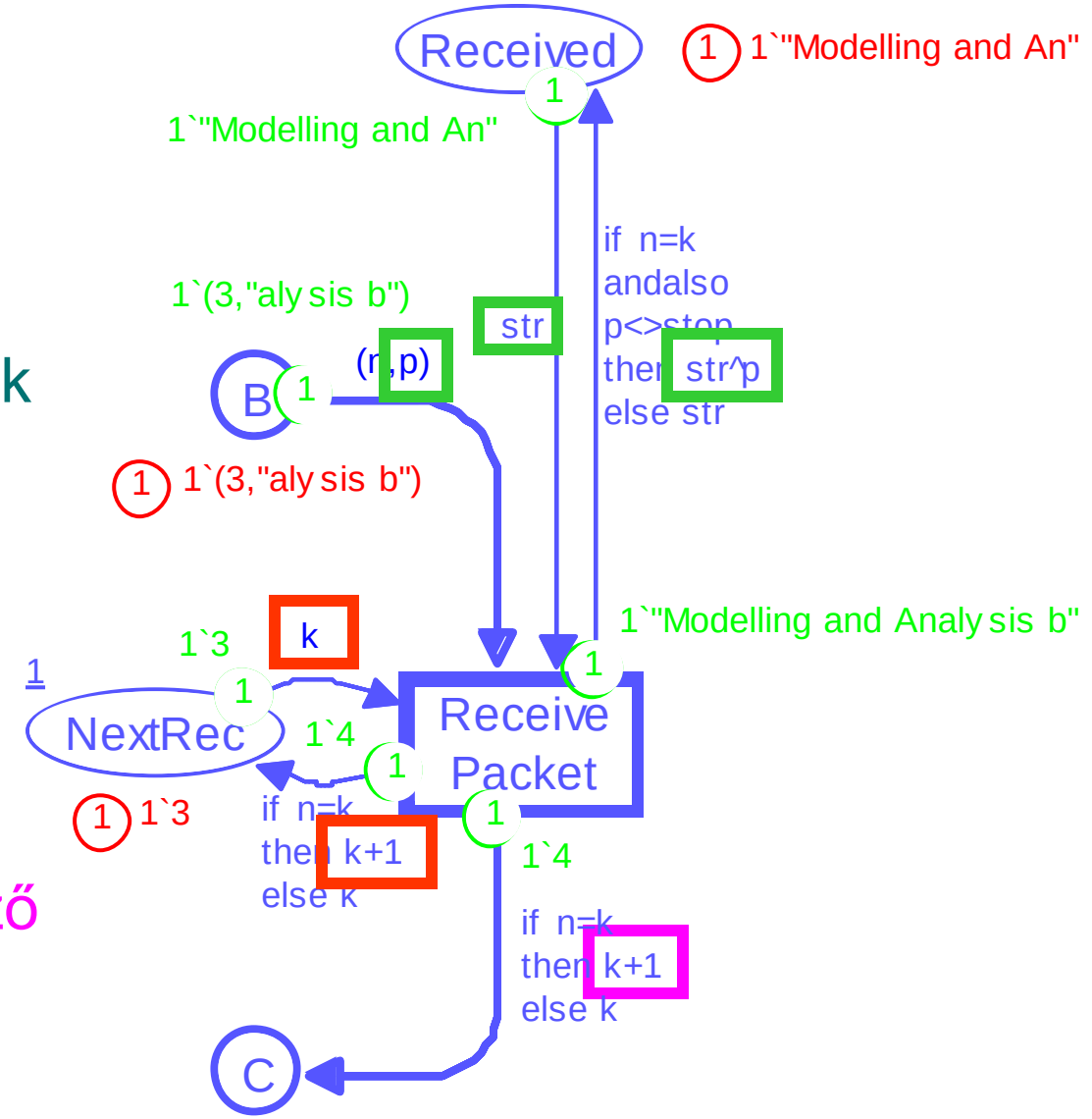
Csomag fogadása

- A *bejövő* (n) és a *várt* csomagok sorszámát (k) összehasonlítjuk.



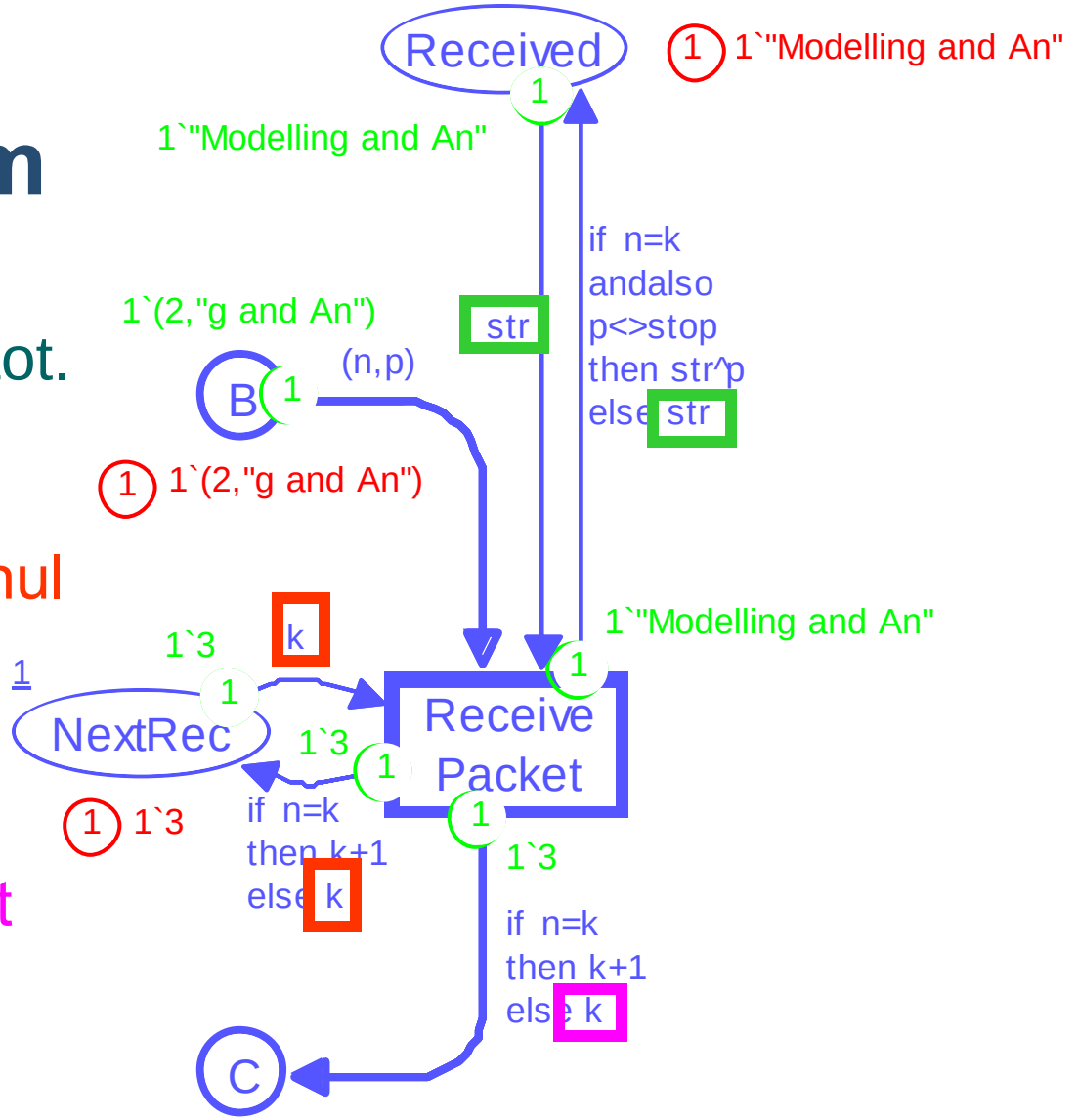
Csomagok sorszámának módosítása

- A már megkapott adatokhoz hozzáfűzzük az újonnan jöttet.
- A *NextRec* számlálót egyenként növeljük.
- *Acknowledgement üzenetet küldünk*. Mellékeljük a következő körben várt üzenet sorszámát.

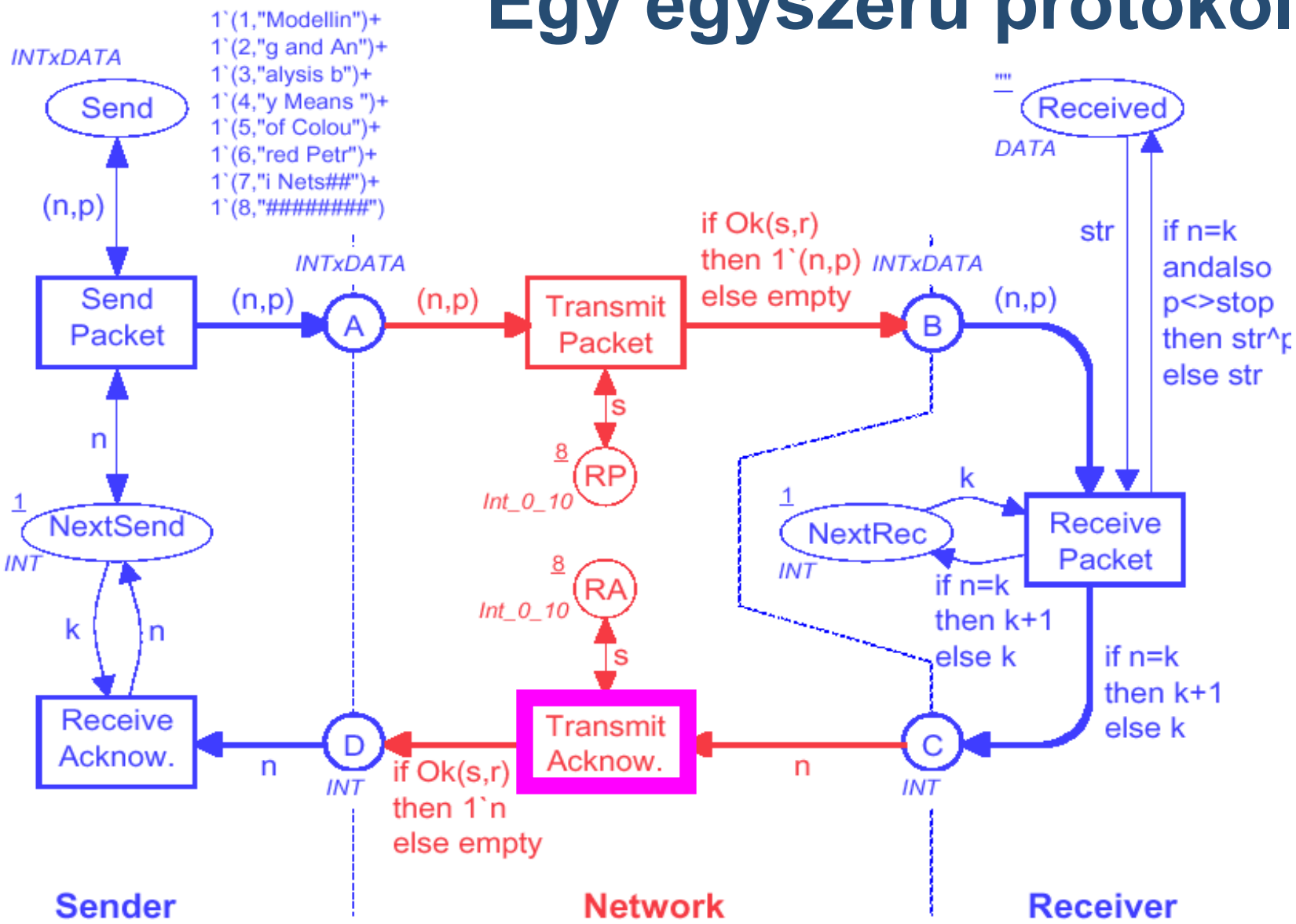


Rossz csomagsorszám

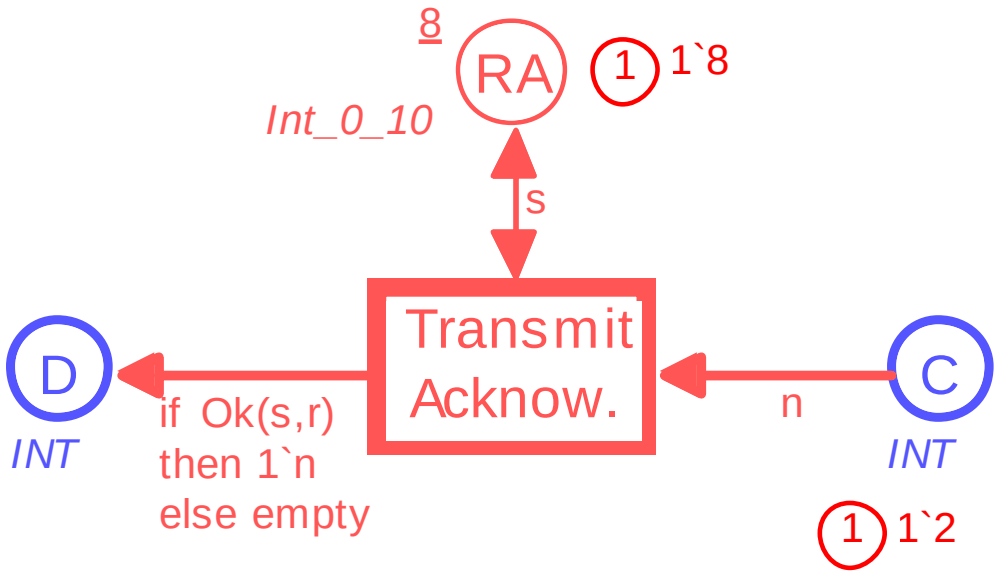
- *Eldobjuk* a kapott adatot.
- A *NextRec-t* változatlanul hagyjuk.
- Egy *acknowledgement üzenetet* küldünk. Ez a várt csomag sorszámát tartalmazza.



Egy egyszerű protokoll

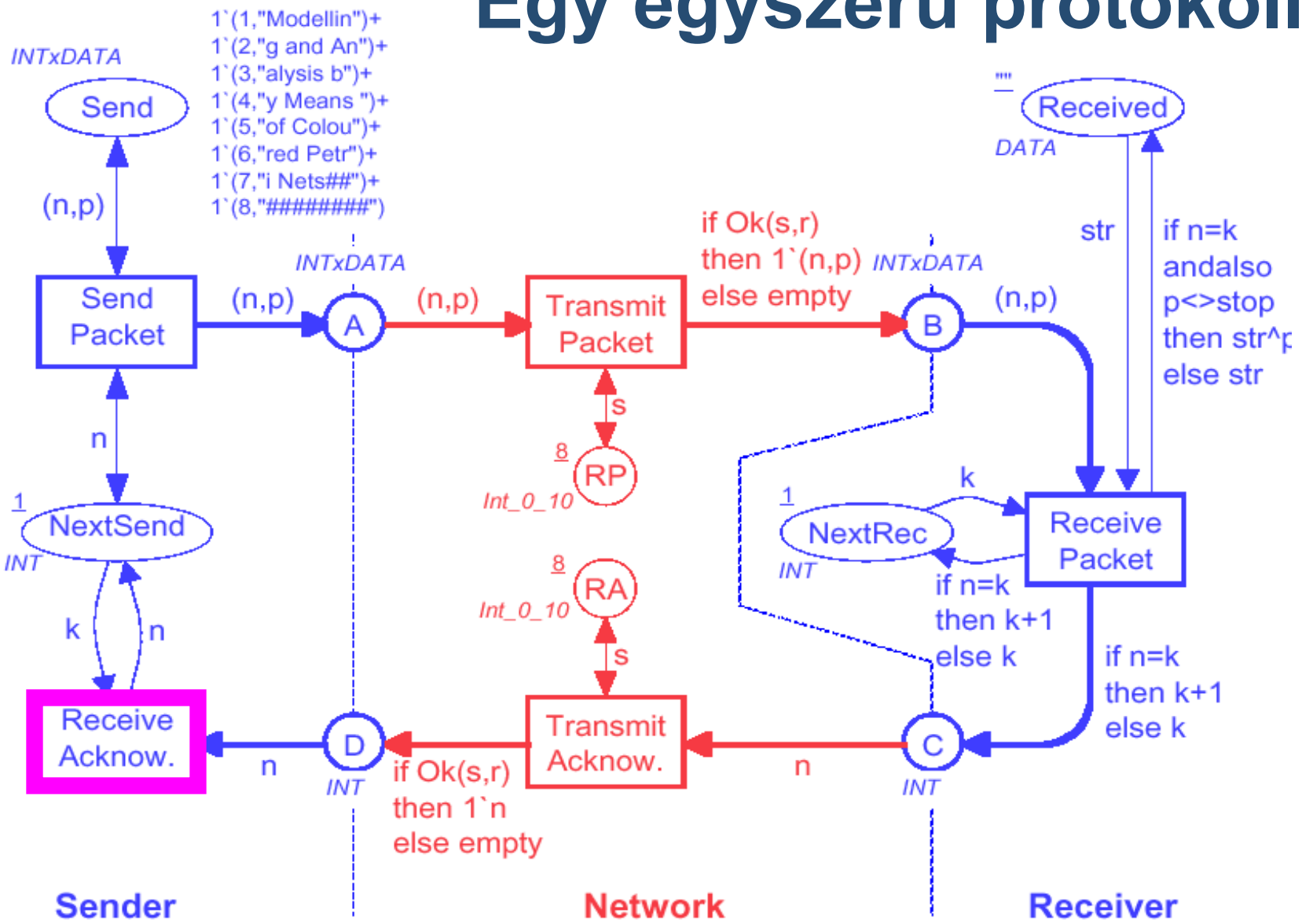


Átvitel visszajelzés

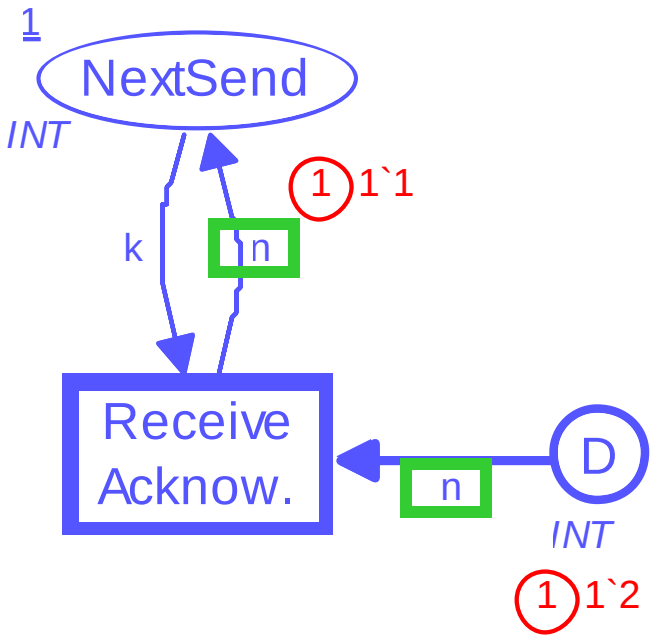


- Hasonlóan működik a *Csomag átvitelhez.*

Egy egyszerű protokoll



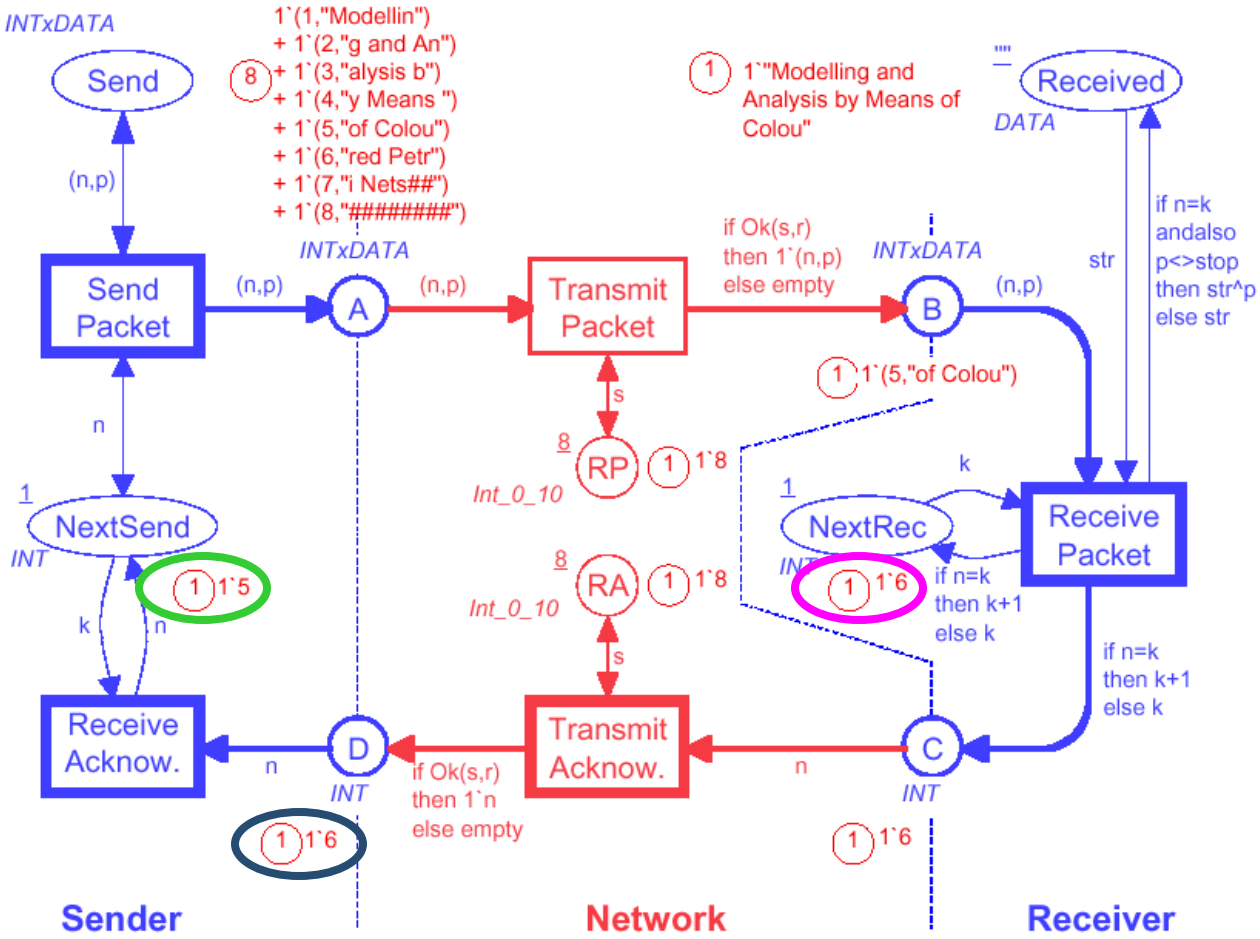
Fogadási visszajelzés



- Amikor az acknowledge megérkezik a *Küldőhöz*, az azonnal frissíti a *NextSend* számlálót.
- Ebben az esetben a számláló értéke 2 lesz, így legközelebb a Küldő a 2-es csomagot fogja küldeni.

Közbülső állapot

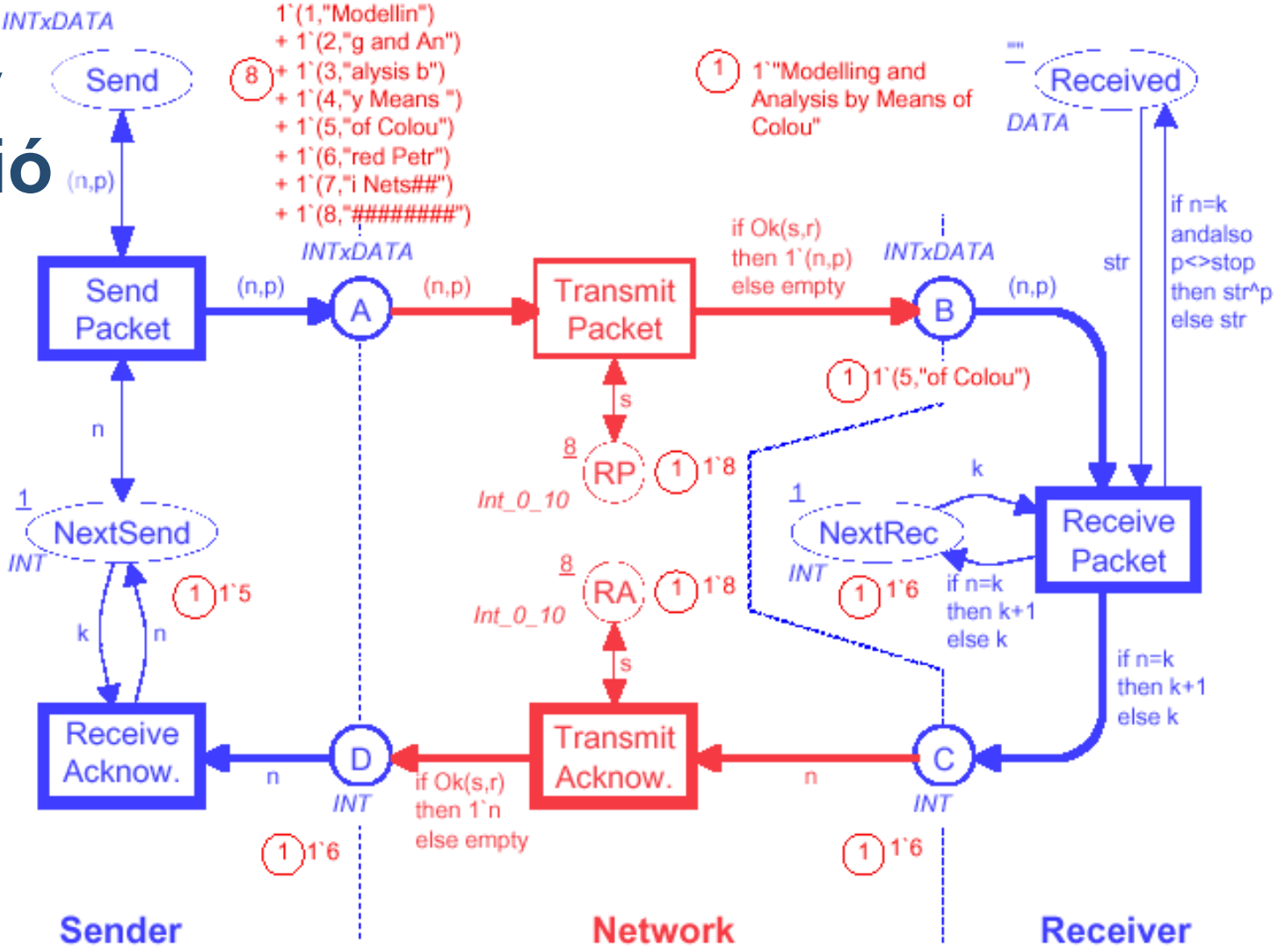
- *Fogadó* várja a 6-os csomagot.
- *Küldő* még csak az 5-ös csomagot küldi.
- A 6-os acknowledgement kérő csomag érkezik meg.
- Ezután a *NextSend* frissítődik majd a *Küldő* elindítja a 6-os csomagot.



Színezett Petri háló szimulációja

- A *szintaktikailag helyes* CPN ábrából a CPN tool *legenerálja* a szükséges *kódot.*
  - Kiszámítja, hogy az egyes tranzíciók *engedélyezettek-e.*
  - Majd *végrehajtja* a tranzíciókat.
- A szintaxis ellenőrzés és a kódgenerálás *inkrementális*. Emiatt a kis módosítások könnyen végrehajthatóak.
- Két különböző szimulációt különböztetünk meg:
  - *Interaktív* szimuláció: a felhasználó beavatkozhat, de nagyrészt a rendszer dolgozik.
  - *Automata* szimuláció: a rendszer mindent megcsinál.

Interaktív szimuláció



- *A Szimuláció* eredményét az ábrán láthatjuk.
  - *A következő tüzelést* manuálisan vagy automatikusan lehet kijelölni.
  - A felhasználó *watchpointot* és *breakpointokat* definiálhat.

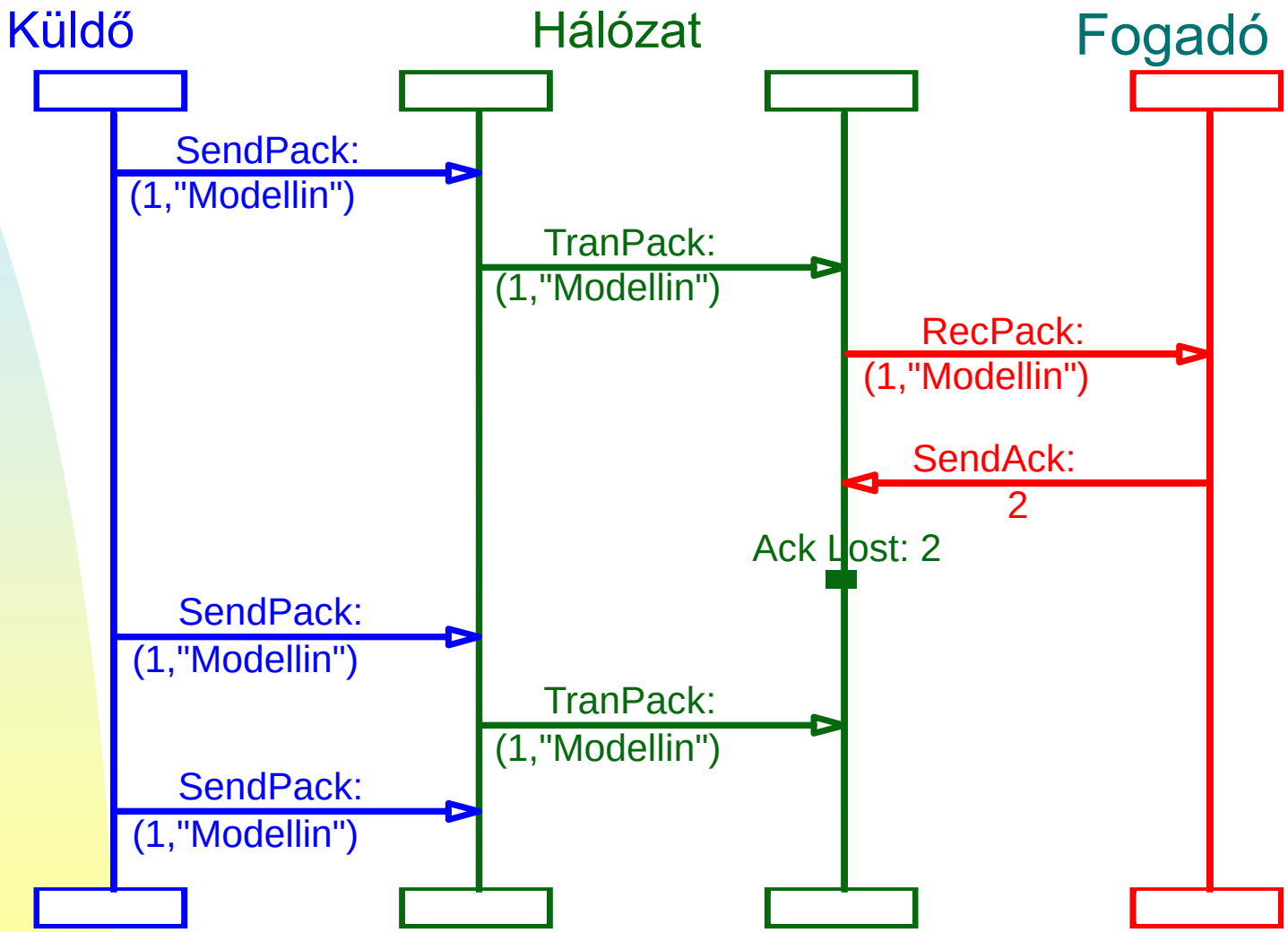
Automatikus szimuláció

- Amennyiben *nem* kívánjuk nyomon követni magát a szimulációt:
  - ez *nagyon gyors lehet* – sokezer lépes/mp.
  - Lehet *megállási kritériumokat* definiálni
  - Megállásnál a *grafikus képernyő* frissül
  - Ekkor a kialakult helyzetet tanulmányozhatjuk
- Az automatikus és interaktív szimuláció *hibrid is lehet.*
- Az automatikus szimuláció eredményének megismeréséhez a felhasználó számára számos eszköz áll rendelkezésre.

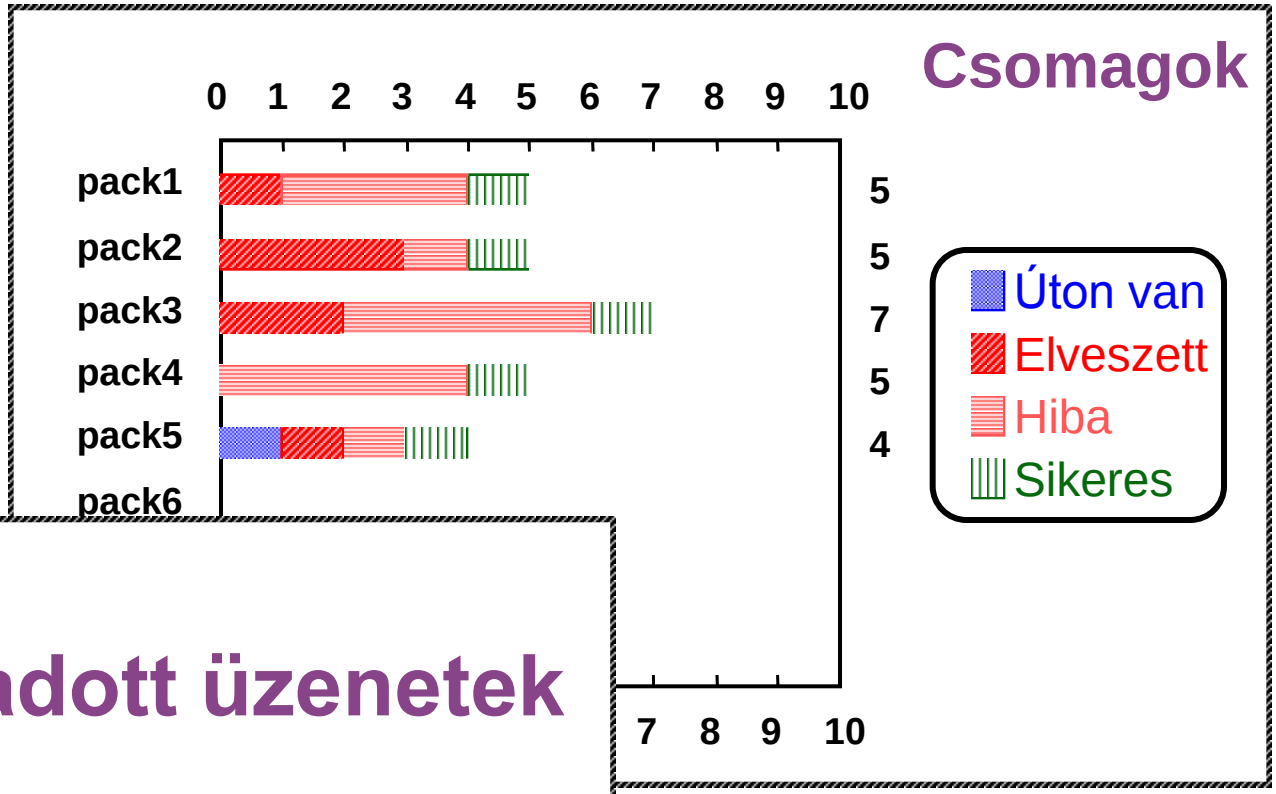
Szimuláció report

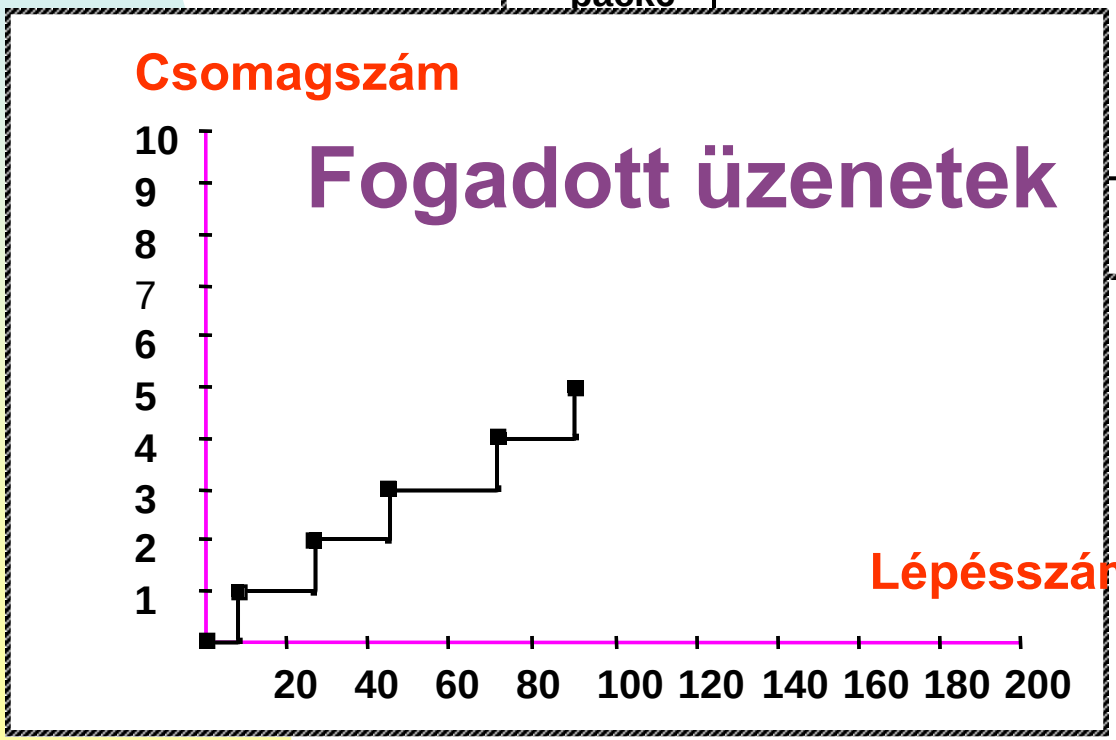
```
1 SendPack@(1:Top#1) {n=1,p="Modellin"}
2 TranPack@(1:Top#1) {n=1,p="Modellin",r=6,s=8}
3 SendPack@(1:Top#1) {n=1,p="Modellin"}
4 TranPack@(1:Top#1) {n=1,p="Modellin",r=3,s=8}
5 RecPack@(1:Top#1)  {k=1,n=1,p="Modellin",str=
6 SendPack@(1:Top#1) {n=1,p="Modellin"}
7 SendPack@(1:Top#1) {n=1,p="Modellin"}
8 TranAck@(1:Top#1)  {n=2,r=2,s=8}
```

Szekvencia diagram

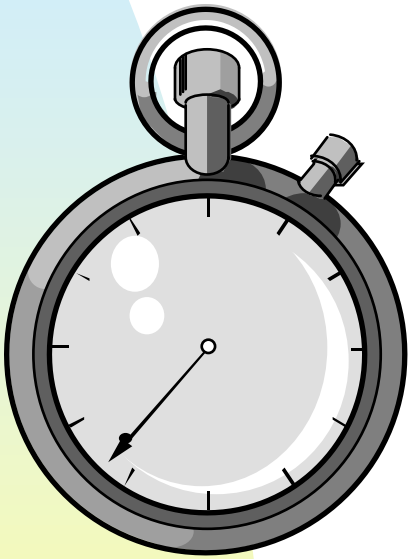


Üzleti diagramok



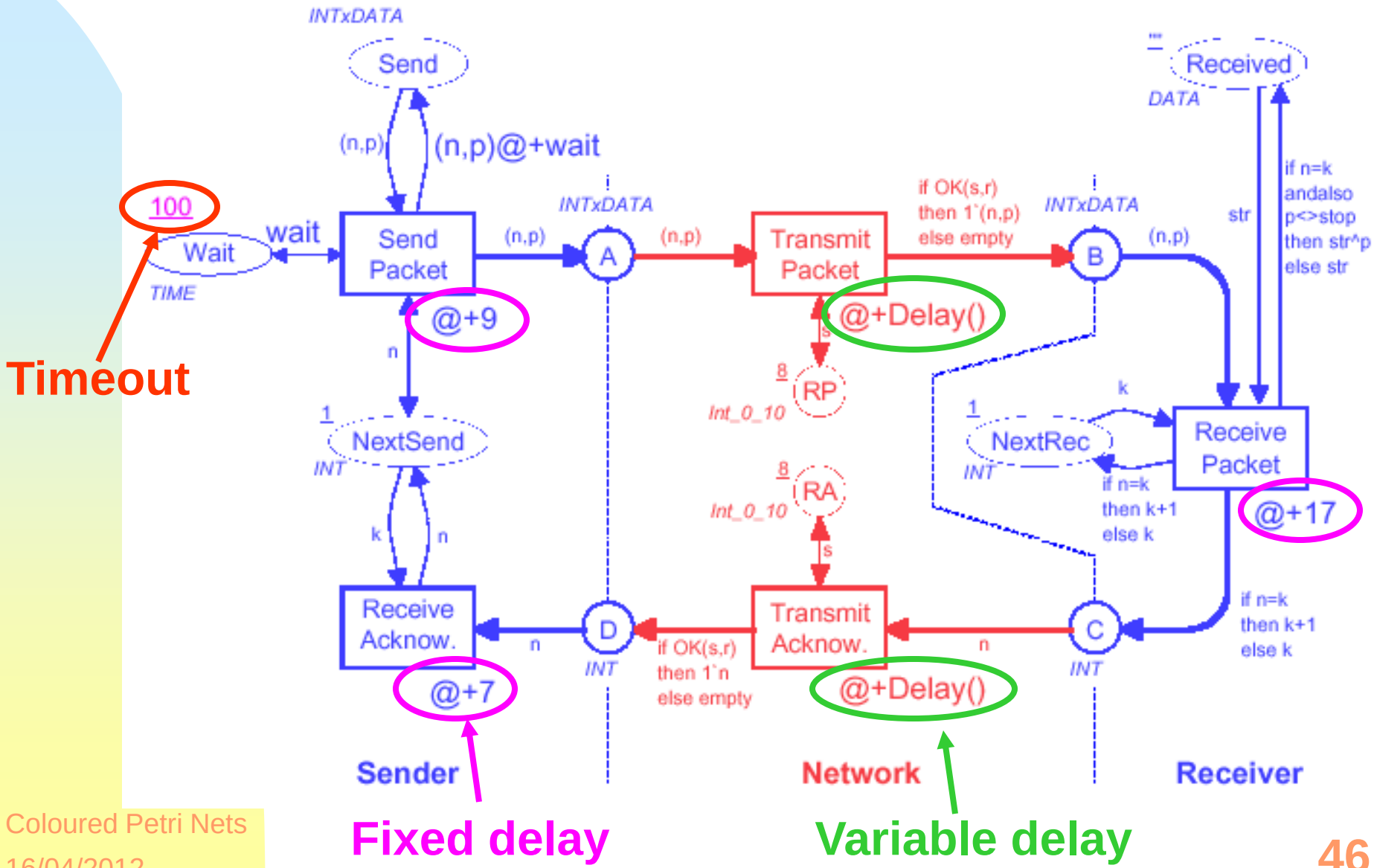


Idő analízis



- CPN-hez az *idő* fogalmát bevezethetjük. Ezzel ezeket nyertük:
  - *Logikai helyesség*.
    Megkívánt funkcionalitás, deadlock mentesség, stb.
  - *Teljesítmény*.
    Szűk keresztmetszetek.
    Várakozási idő és átlagos átbocsátó képesség előrejelzés.
- Egy időzített színezett Petri-hálóban minden tokennek *színe* (értéke) és egy *időbélyege* (mikor használható fel) van.

Egy időzített CPN a protokollunkhoz

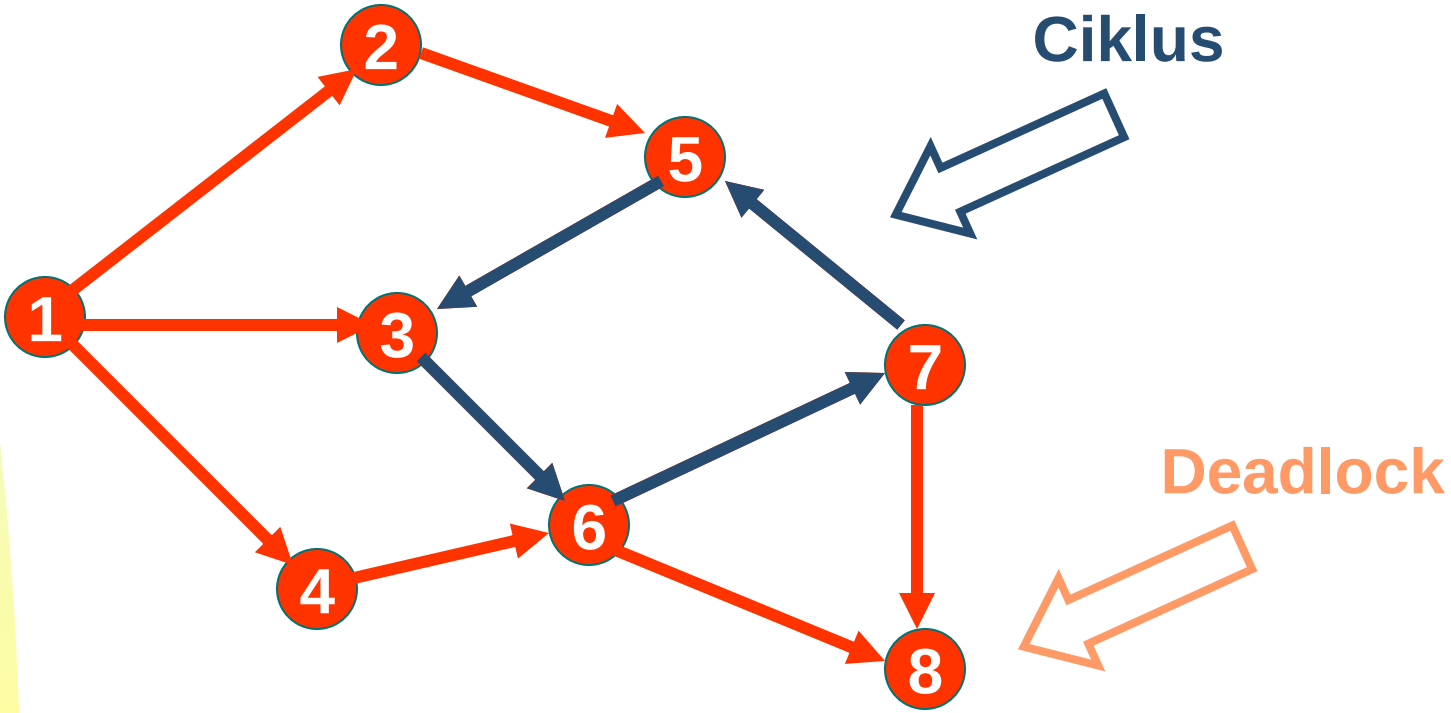


A CPN verifikációja

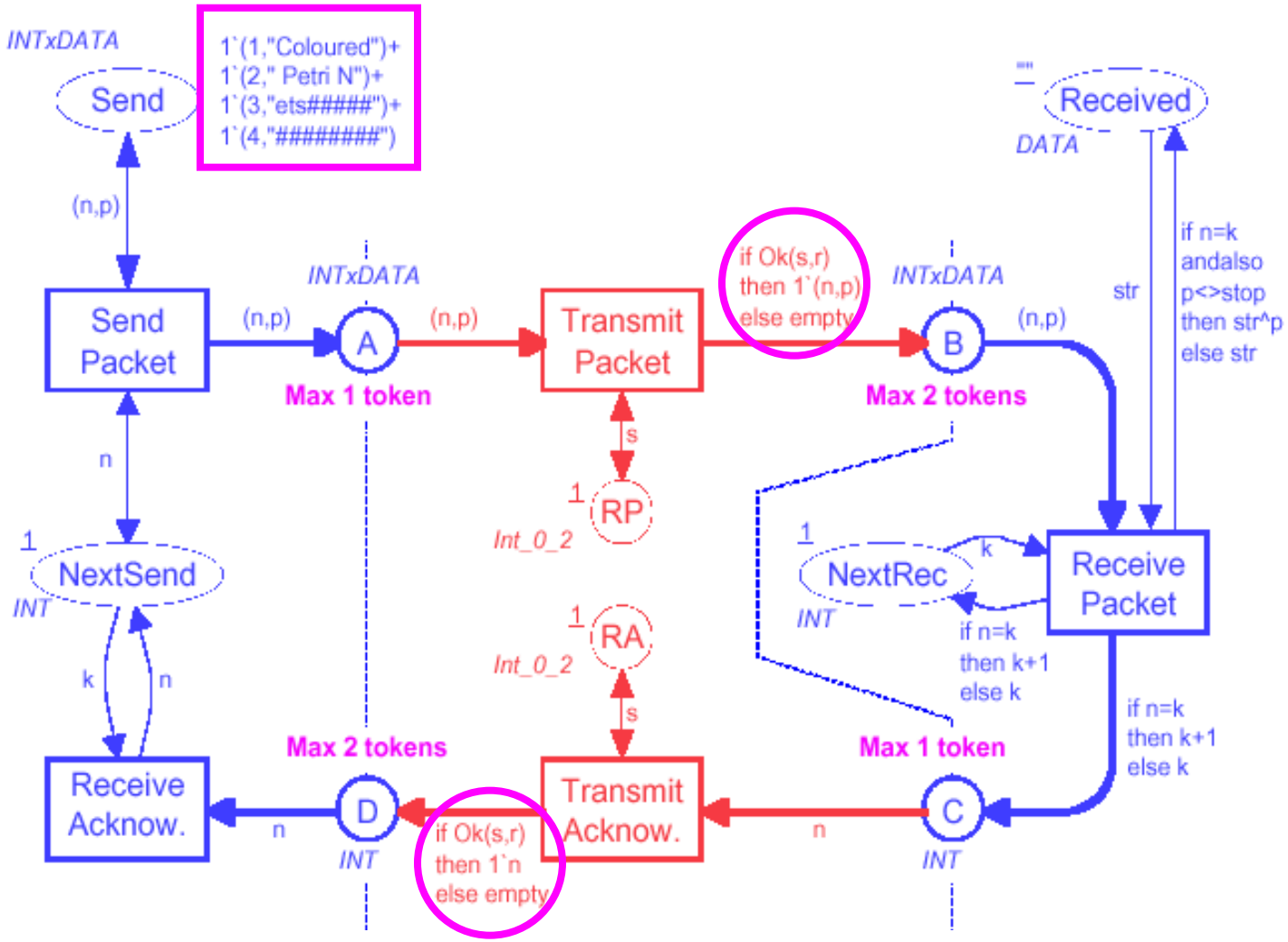
- A CPN verifikációja a következőkből áll:
  - *Állapottér*.
  - Hely és tranzíció *invariánsok.*
    - Hasonlóan a programozási nyelvek invariánsaihoz.

Állapottér

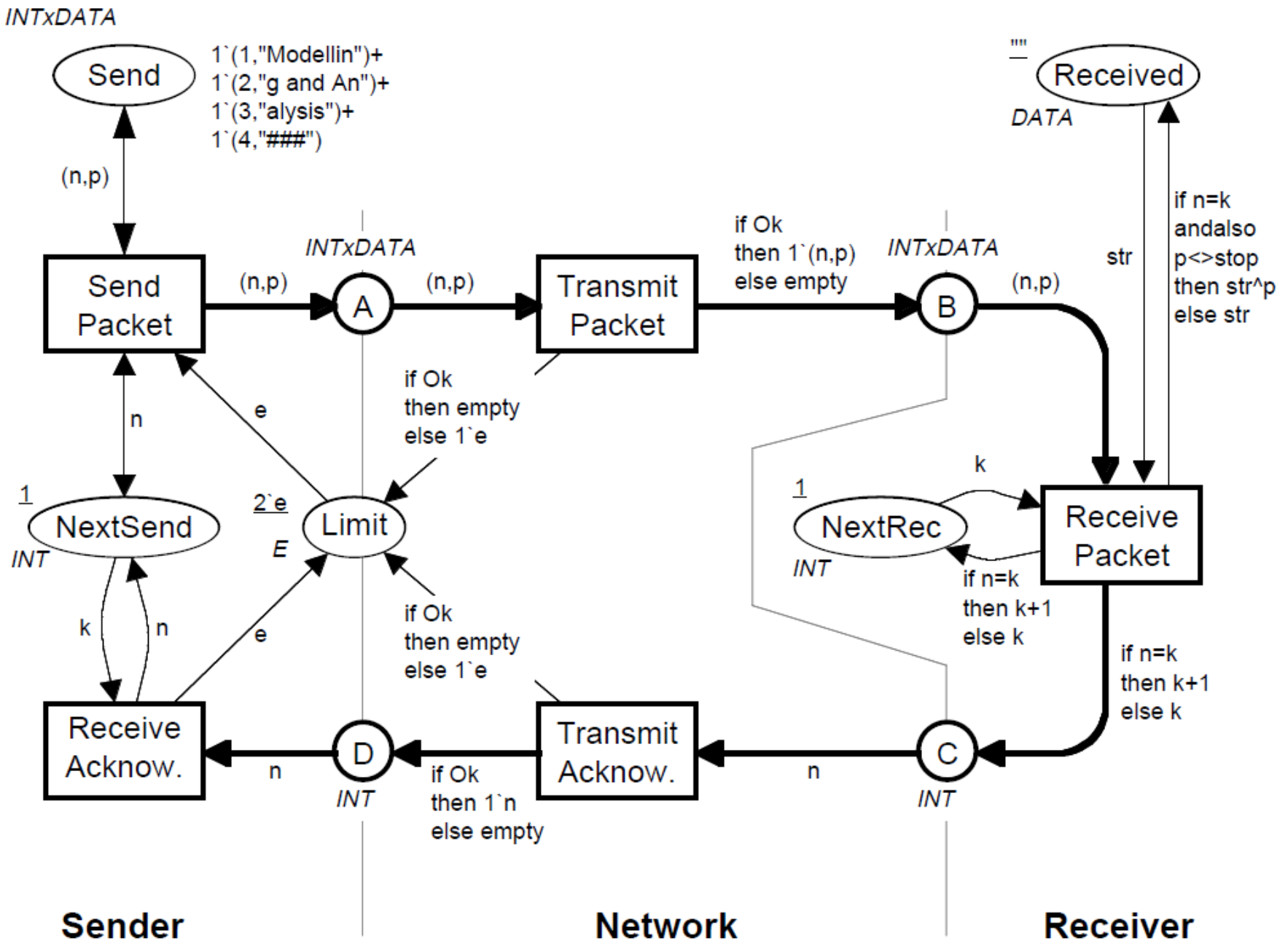
- Az *állapottér* egy irányított gráf, ahol:
  - A csomópont az *elérhető állapot*.
  - A nyíl a lehetséges tranzíciók (+ párosítás).



A protokoll állapottere



- Véges állapottér elérése:
  - Tokenek számát korlátozzuk az A, B, C és D helyeken.
  - Csak *4 csomagunk van.*
  - *Bináris választás, hogy* sikeres vagy sem.


INTxDATA
Send
1`(1,"Modellin")+
1`(2,"g and An")+
1`(3,"alysis")+
1`(4,"###")
(n,p)
Send Packet
n
1
NextSend
INT
k
n
Receive Acknow.
n
e
2`e
E
Limit
e
INTxDATA
(n,p)
A
(n,p)
if Ok
then empty
else 1`e
if Ok
then empty
else 1`e
D
INT
if Ok
then 1`n
else empty
Transmit Acknow.
n
C
INT
Transmit Packet
if Ok
then 1`(n,p)
else empty
INTxDATA
B
(n,p)
""
DATA
Received
str
if n=k
andalso
p<>stop
then str^p
else str
k
1
NextRec
INT
Receive Packet
if n=k
then k+1
else k
if n=k
then k+1
else k
Sender
Network
Receiver

Állapottér információk a protokollunkról

Elérhetőségi gráf

Occurrence Graph Statistics

Nodes: 4298
Arcs: 15887
Secs: 16
Status: Full

Erősen összekötött komponensek:

Scc Graph Statistics

Nodes: 2406
Arcs: 11677
Secs: 5

Tokenszám korlátok

Upper Integer Bounds

A:	1
B:	2
C:	1
D:	2
NextRec:	1
NextSend:	1
RA:	1
RP:	1
Received:	1
Send:	4

Lower Integer Bounds

A:	0
B:	0
C:	0
D:	0
NextRec:	1
NextSend:	1
RA:	1
RP:	1
Received:	1
Send:	4

Multi-set korlátok

Upper Multi-set Bounds

A:	1`(1,"Coloured")+ 1`(2," Petri N")+ 1`(3,"ets#####”)+ 1`(4,"########")
B:	2`(1,"Coloured")+ 2`(2," Petri N")+ 2`(3,"ets#####")+ 2`(4,"########")
C:	1`2+ 1`3+ 1`4+ 1`5
D:	2`2+ 2`3+ 2`4+ 2`5
NextRec:	1`1+1`2+1`3+1`4+1`5
NextSend:	1`1+1`2+1`3+1`4+1`5
RA:	1`1
RP:	1`1
Received:	1`""+ 1`"Coloured"+ 1`"Coloured Petri N"+ 1`"Coloured Petri Nets#####"
Send:	1`(1,"Coloured")+ 1`(2," Petri N")+ 1`(3,"ets#####")+ 1`(4,"########")

Visszatérőség és élőség

Visszatérőség

Home Markings: 1 [452]

Élőség

Dead Markings: 1 [452]

Live Transitions: None

NextSend = 5
NextRec = 5
Received = "Coloured Petri Nets#####"

452

- A 452 token eloszlás azt jelenti, hogy minden csomag helyesen megérkezett.

A halott állapotok

- A 452. tokeneloszlás a *dead*
  - Ez azt jelenti, hogy ez a protokoll *részlegesen korrekt* (ha lefut az algoritmus, akkor a végleges eloszlást veszi fel).
- Ez egyben *visszatérő állapot is*
  - Emiatt *mindig megvan a lehetőség arra, hogy helyesen fejezzük be* (az lehetetlen, hogy olyan állapotba tévedjünk, amiből nem tudunk a kívánt célállapotba jutni).

Fair tulajdonság

Send Packet:	**Impartial**
Transmit Packet:	**Impartial**
Receive Packet:	**No Fairness**
Transmit Acknow:	**No Fairness**
Receive Acknow:	**No Fairness**

- A fairség tulajdonság azt jelenti, hogy egy tranzíció milyen gyakran tüzelhet.

Legrövidebb út megkeresése

- A *legrövidebb utat* szeretnénk megtalálni a *kezdeti eloszlásból* a *végeloszlásba*.

```
val path =
NodesInPath(1,452);
```

```
> val path =
[1,2,3,5,8,11,15,20,27,38,50,
64,80,102,133,164,199,243,
301,375,452] : Node list
```

```
Length(path);
```

```
> 20 : int
```

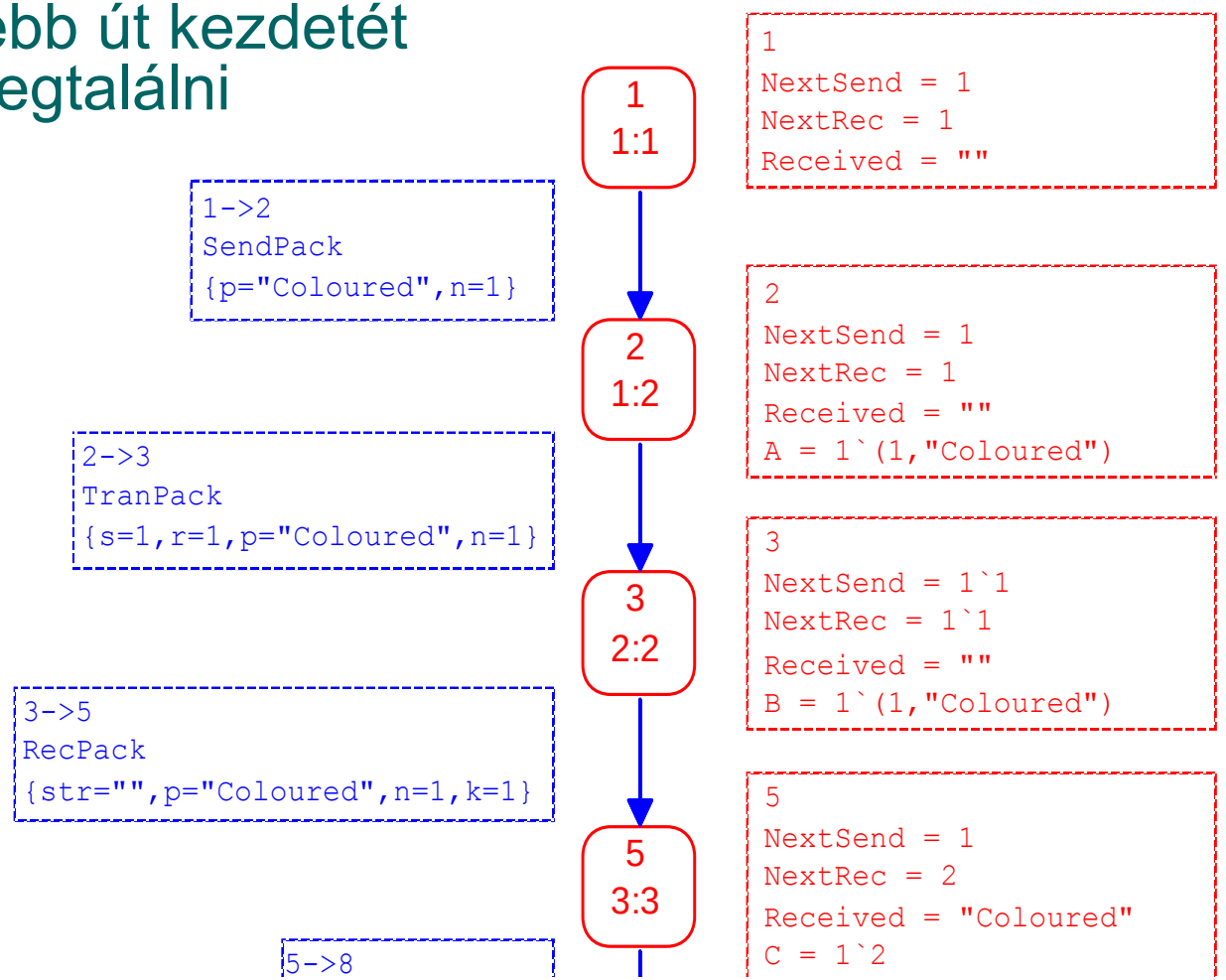
Lekérdezés

válasz

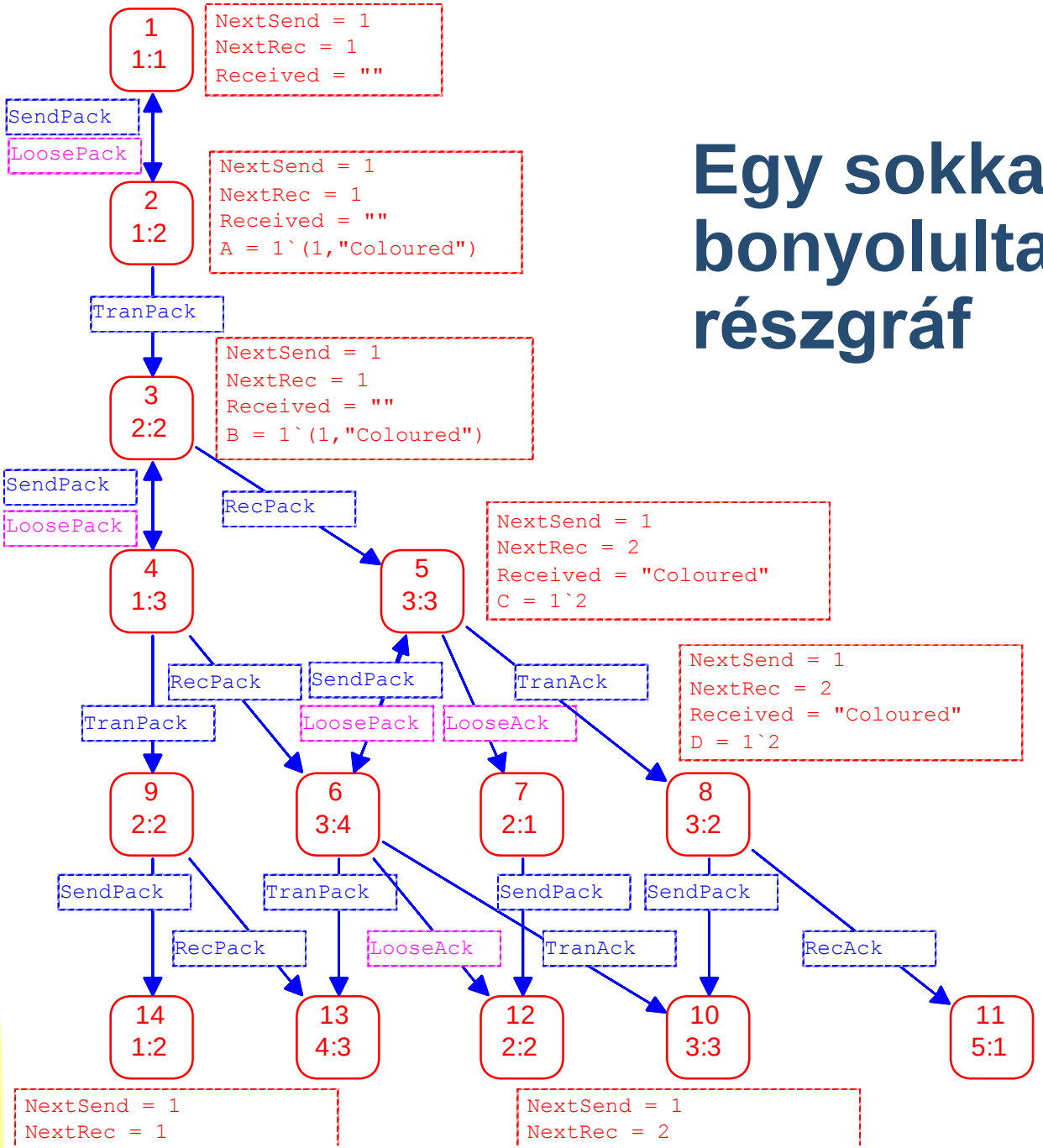
A legrövidebb út kirajzolása

DisplayNodePath [1,2,3,5,8,11]; **> () : unit**

- A legrövidebb út kezdetét kívánjuk megtalálni



Egy sokkal bonyolultabb részgráf



Nem szabványos lekérdezések

- Lehetséges-e a NextSend számlálót csökkenteni?

```
PredArcs
     (EntireGraph,
      fn a => ((ms_to_col(Mark.NextSend 1
                          (SourceNode a)))   >
                (ms_to_col(Mark.NextSend 1
                          (DestNode a)))),
      10);
```

```
>[10179,10167,10165,10159,10055,10052,10035,
10031,10019,10007] : Arc list
```

IGEN!

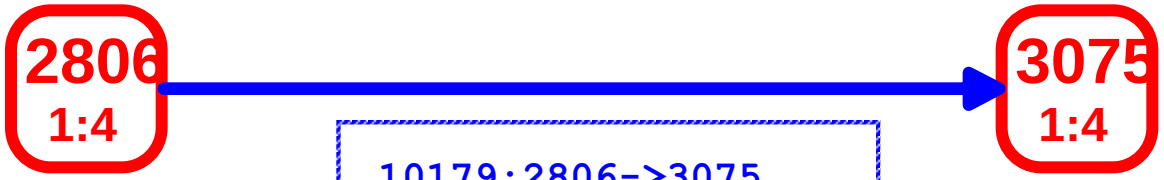
Számlálós példa

```
DisplayArcs [10179];
```

```
> () : unit
```

```
NextSend = 4
NextRec = 5
Received = "Coloured Petri
Nets#####"
A = 1`(4,"########")
B = 2`(4,"########")
C = 1`5
D = 1`2+ 1`5
```

```
NextSend = 2
NextRec = 5
Received = "Coloured
Petri Nets#####"
A = 1`(4,"########")
B = 2`(4,"########")
C = 1`5
D = 1`5
```




```
10179:2806->3075
RecAck = {n=2,k=4}
```

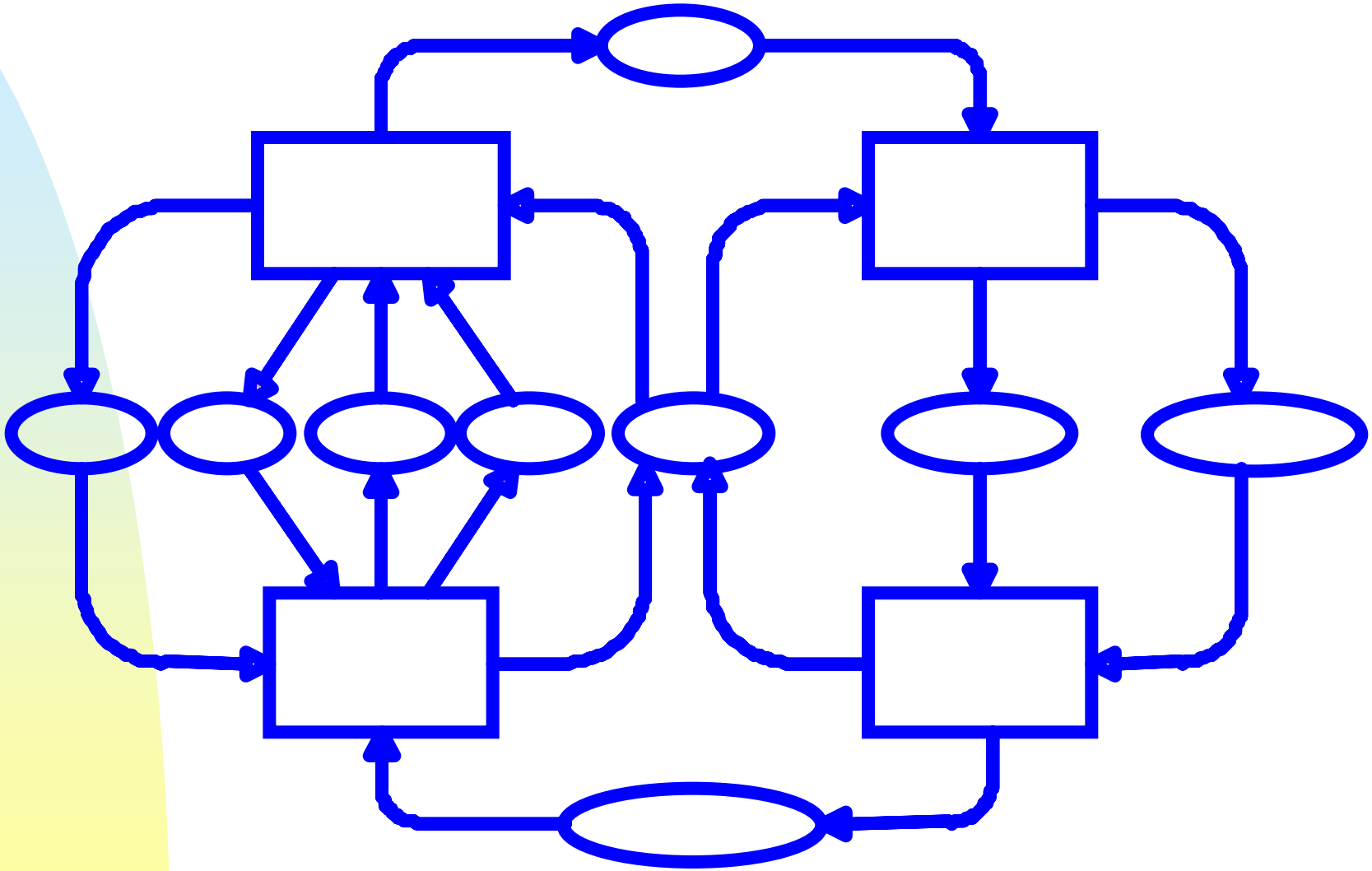
Temporális logika

- Lehetséges CTL-szerű kérdéseket is feltenni (*temporális logika)*.
  - Állapotok
  - Átmenetek
  - Kötések elemei

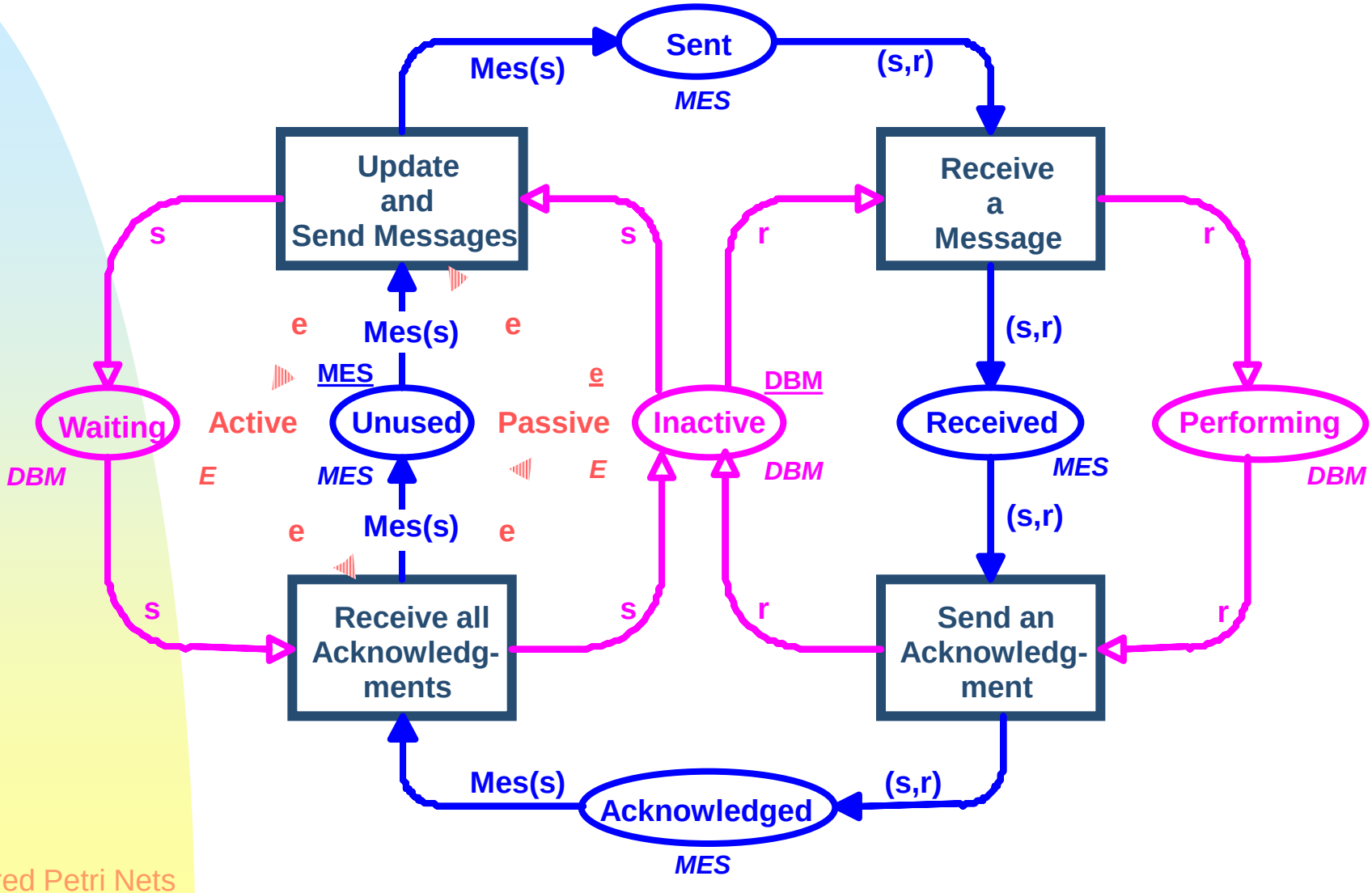
Állapottér analízis – előnyök/hátrányok

- Az állapottér *kifejezőereje nagy* és *könnyen* számolható.
  - *Építése* és *analízise* *automatizálható.*
  - *Nincs szükség* az analízis módszerek *matematikai* ismeretére
- Legnagyobb hátránya az *állapottér robbanás*
  - Az eszköz *egymillió* állapotot képes kezelni.
  - Ez sok esetben *nem elég*.

A Petri net közösség logója

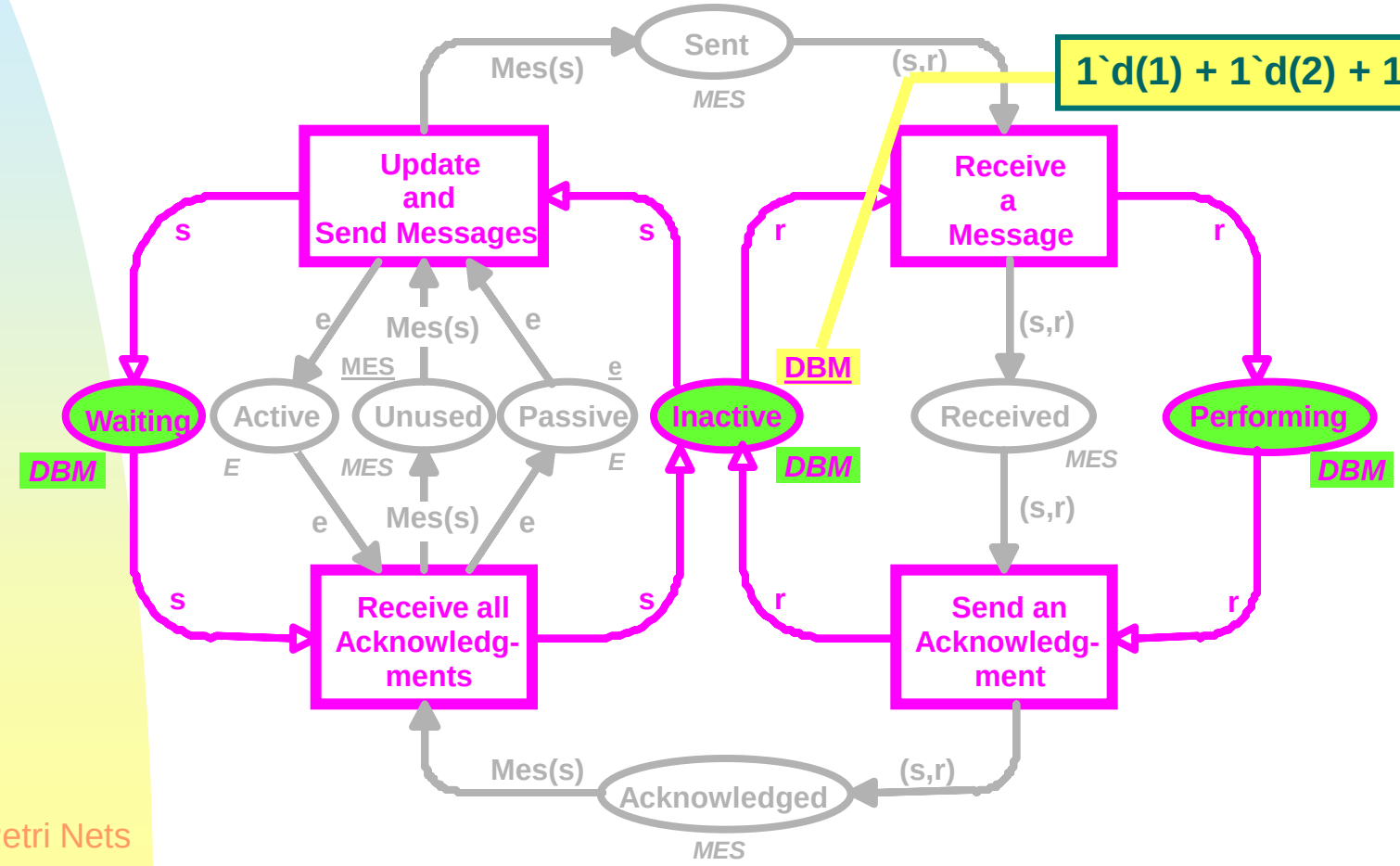


Elosztott adatbázis



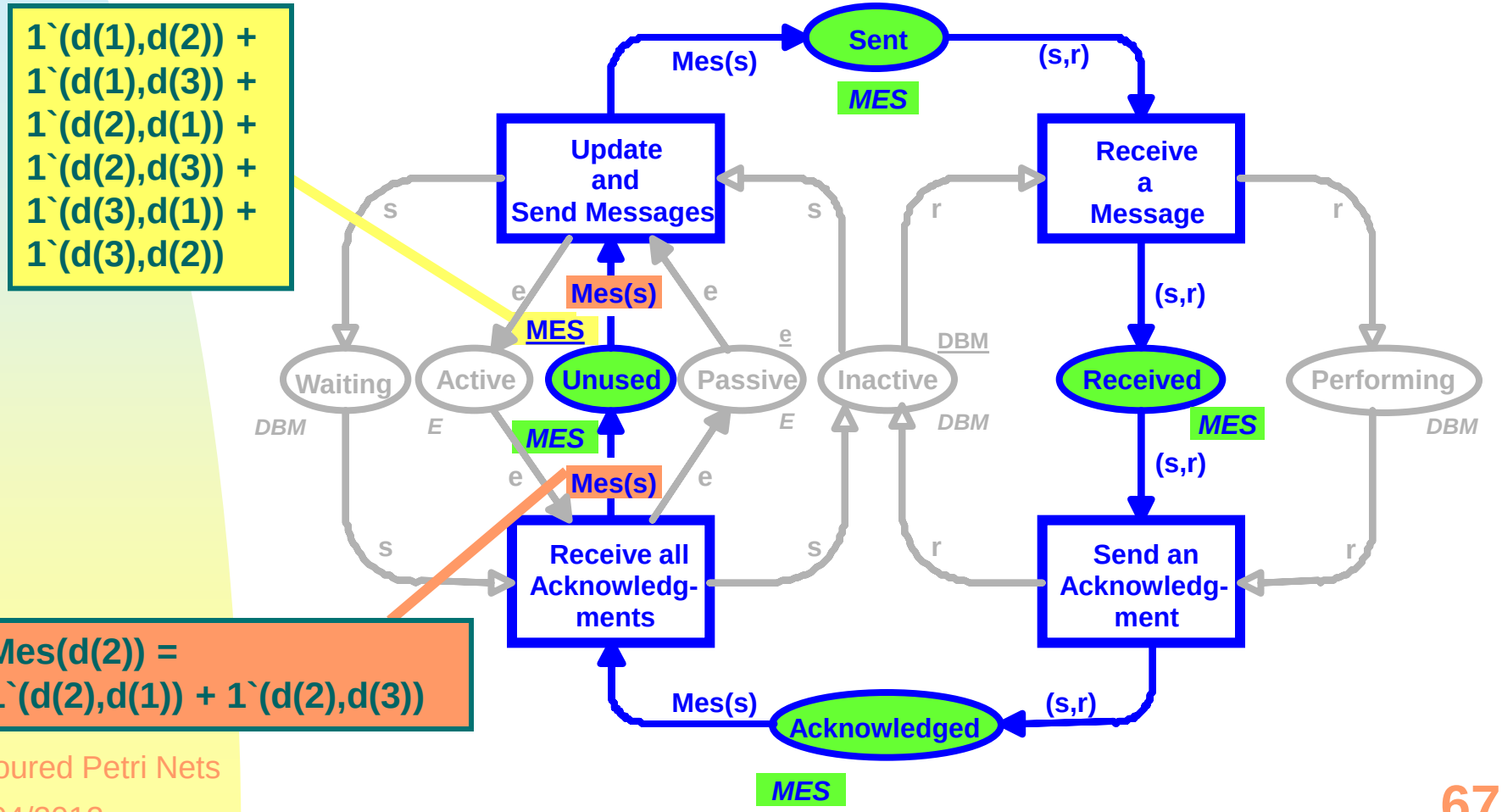
Adatbázis kezelők

- DBM = {d(1),d(2),d(3)}



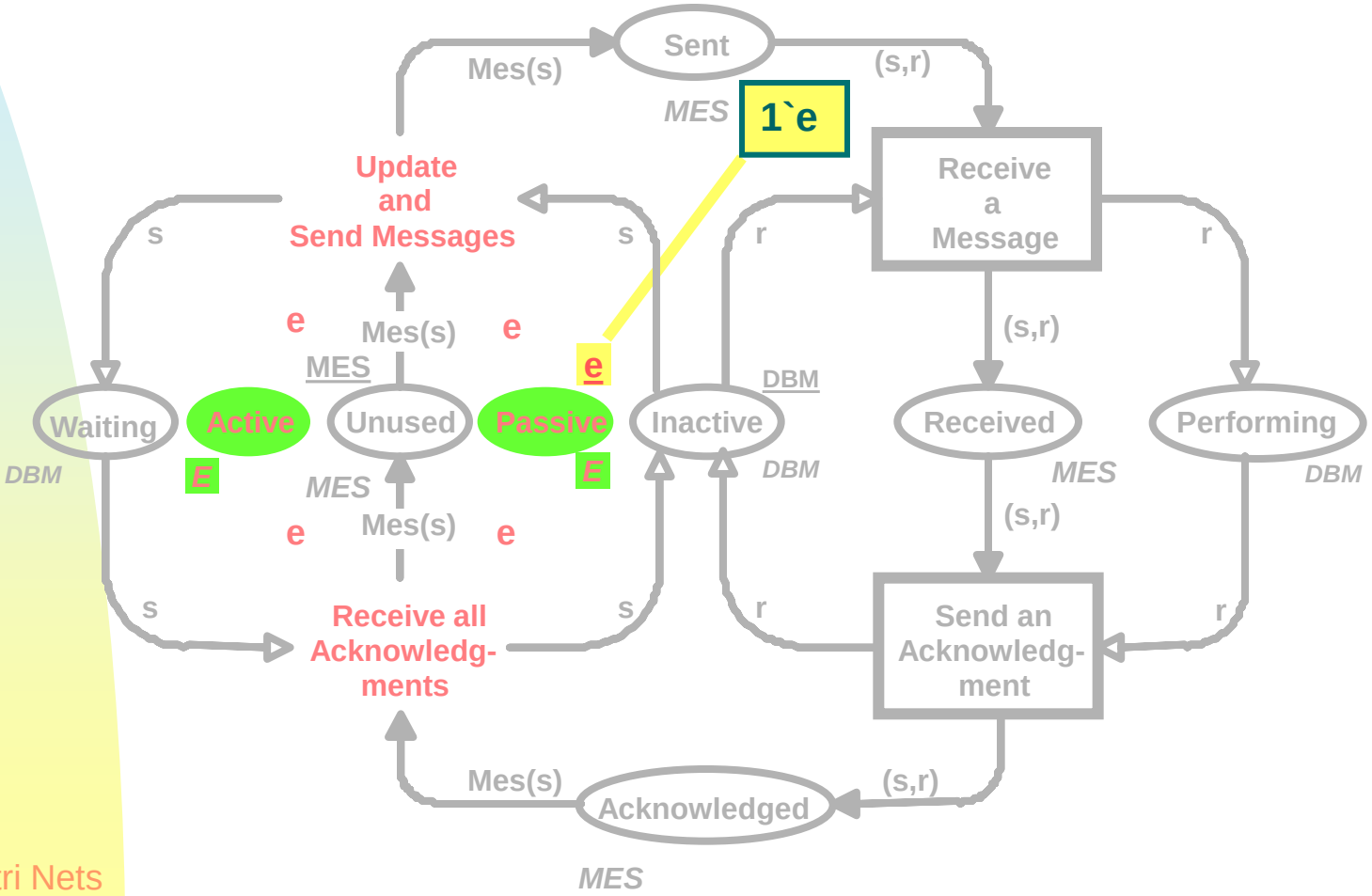
Üzenet bufferek

- MES = {(s,r)∈ DBM×DBM | s ≠ r}

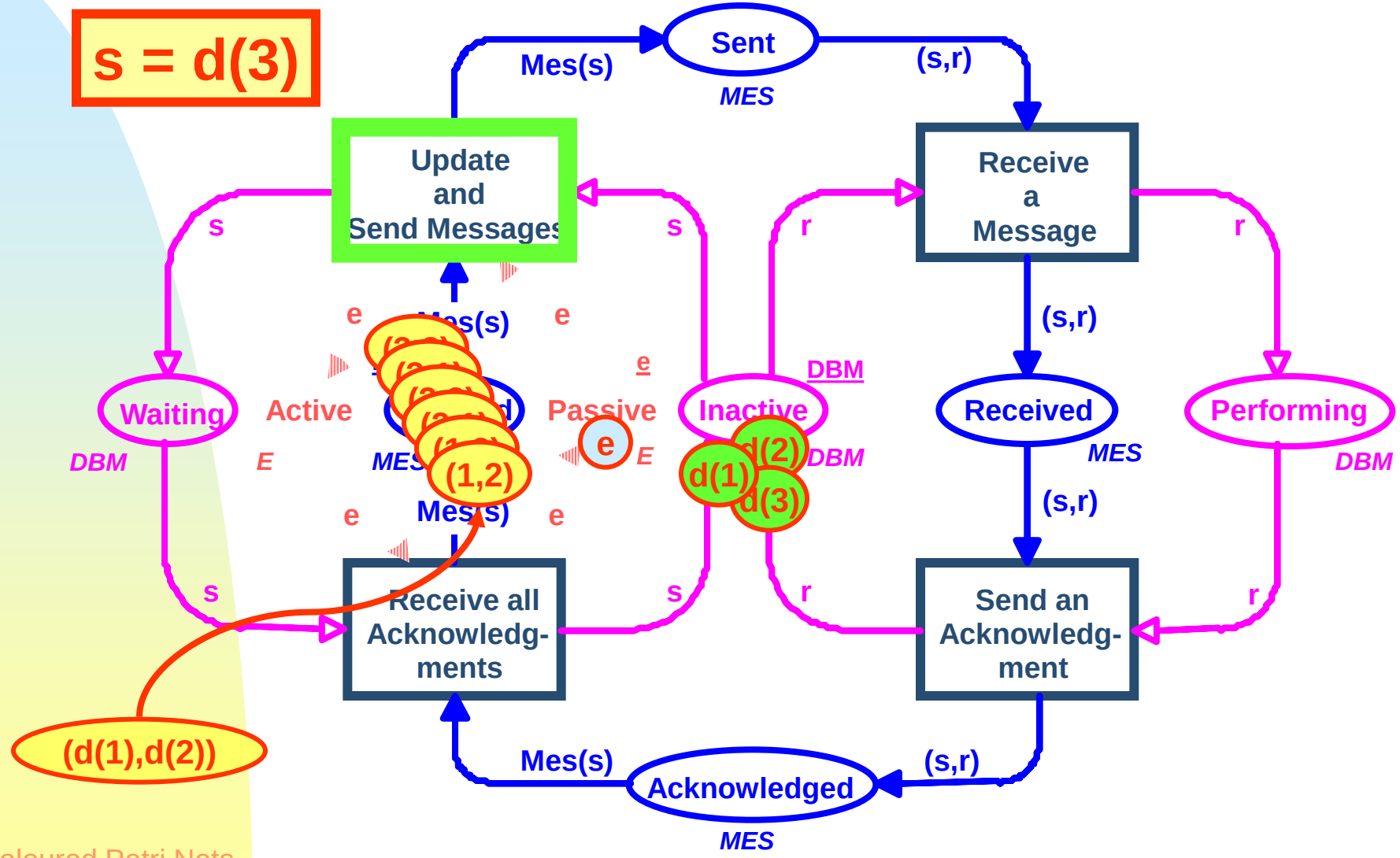


Kölcsönös kizárás

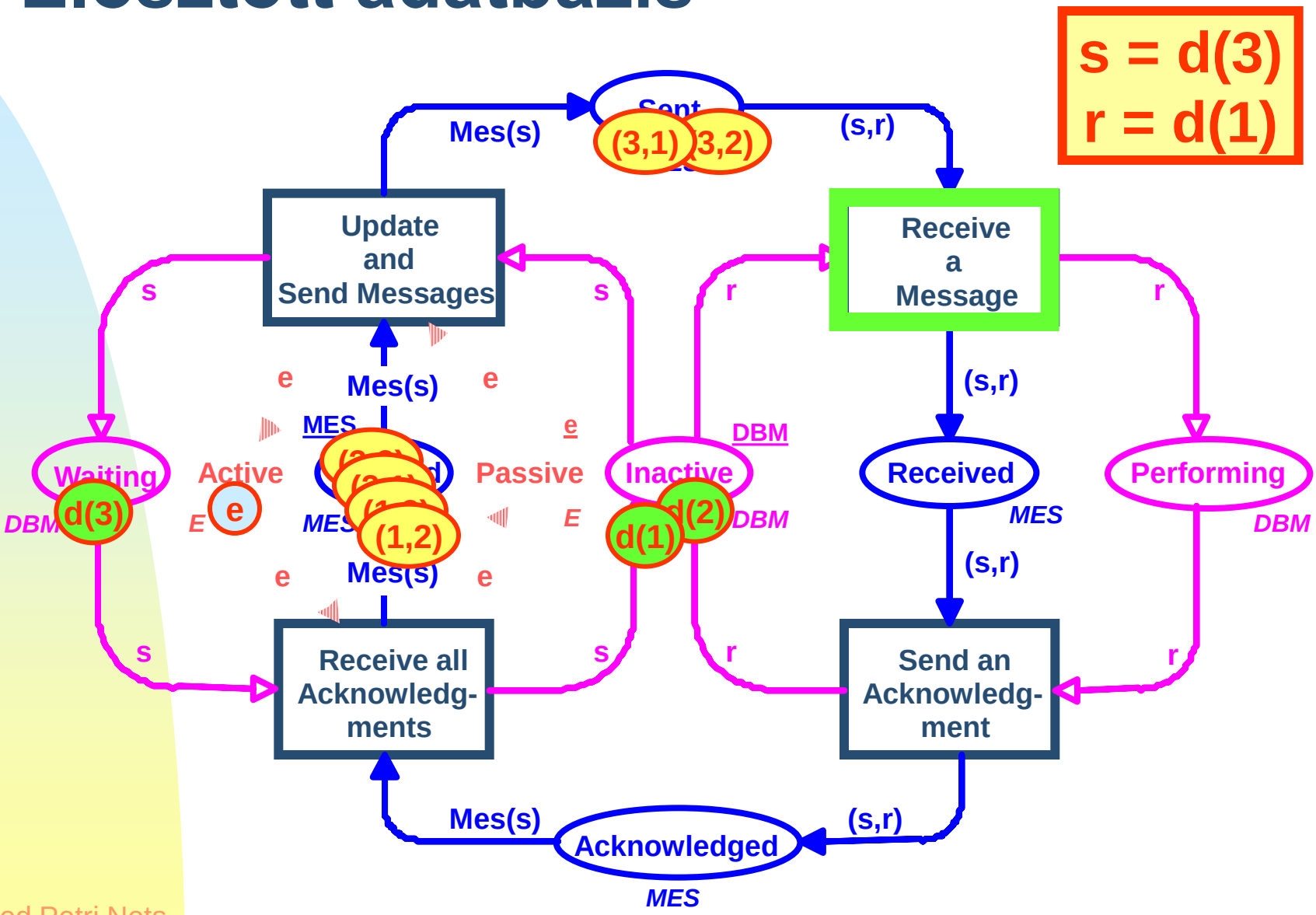
- E = {e}



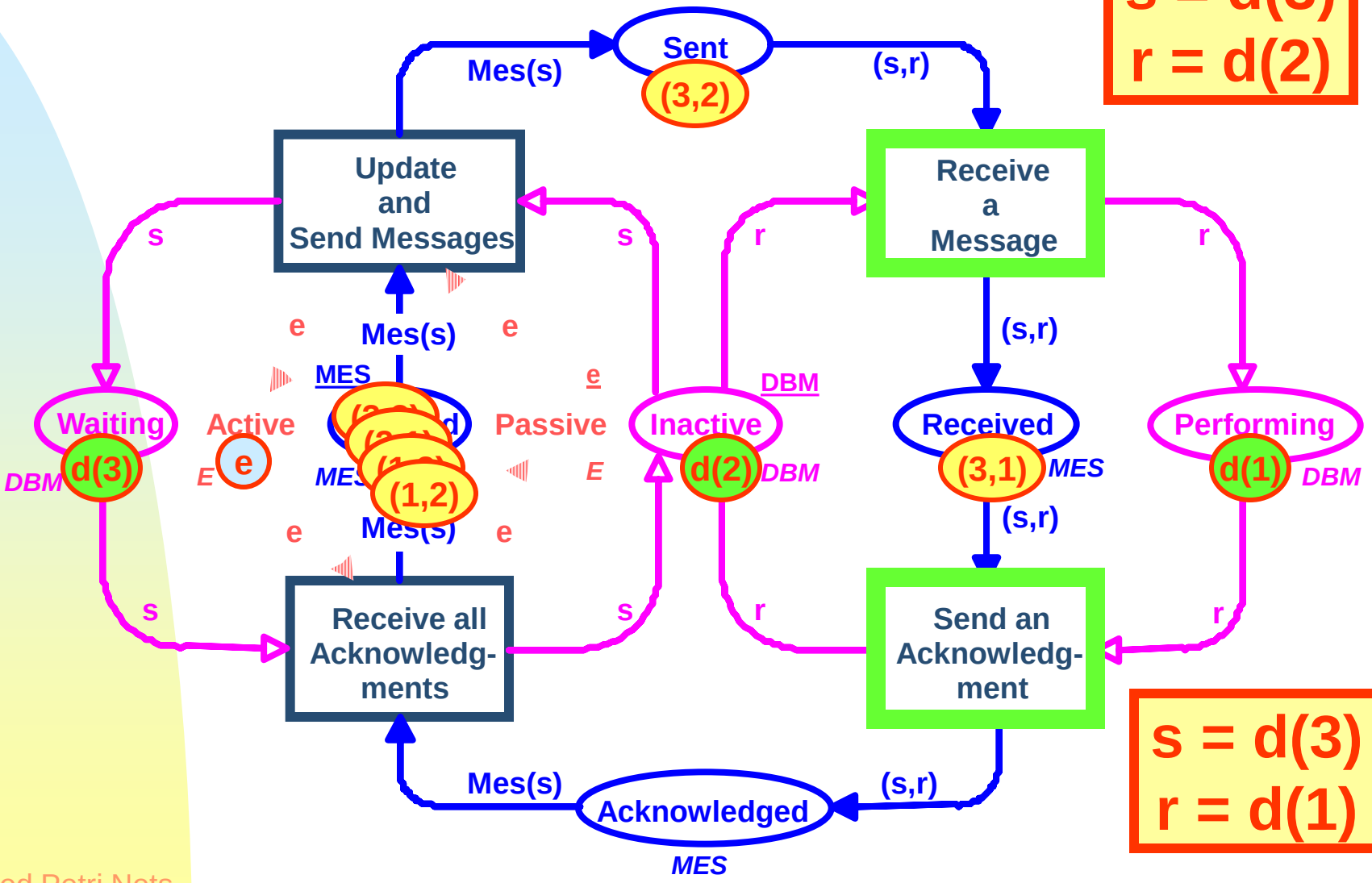
Elosztott adatbázis



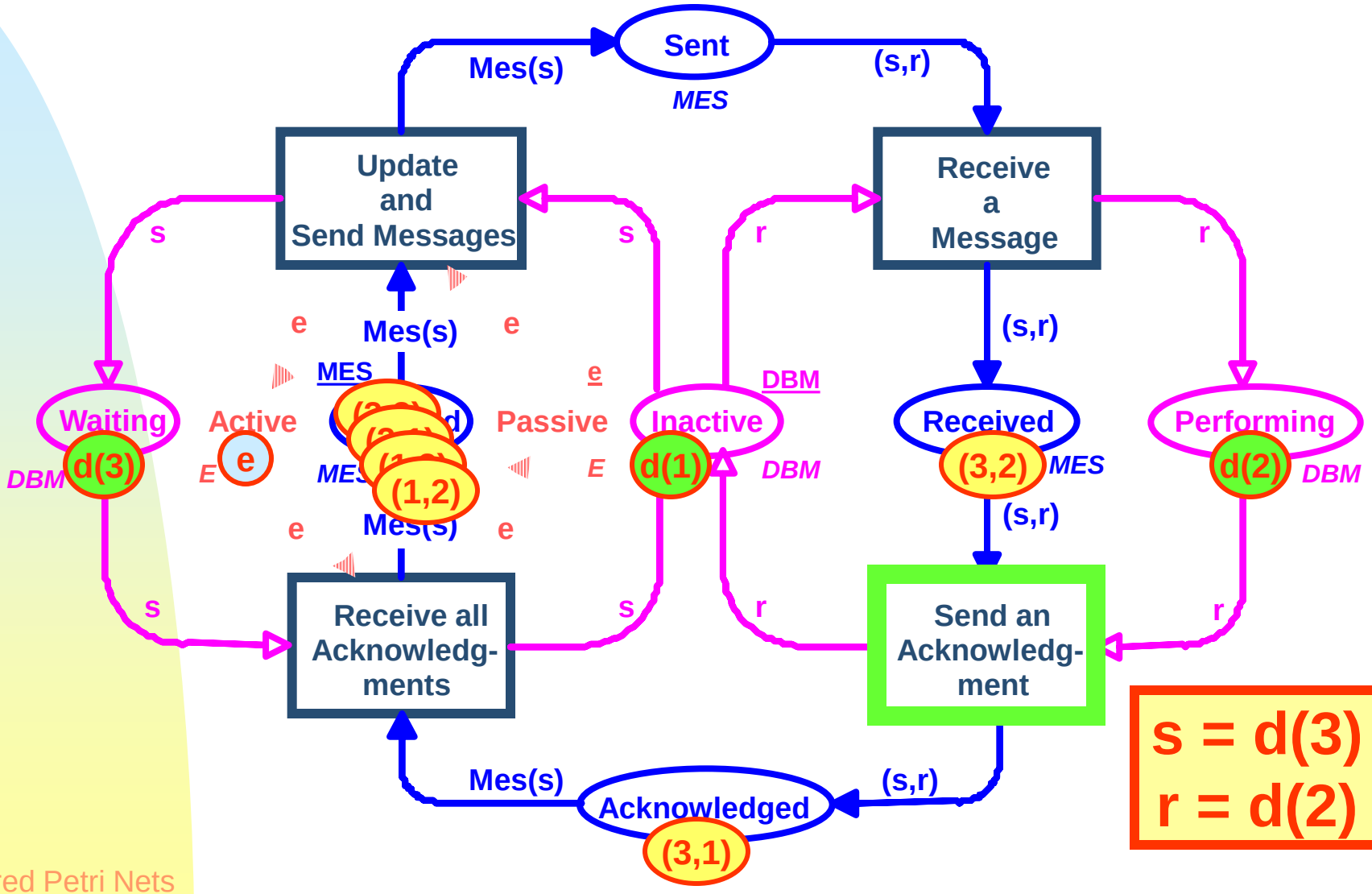
Elosztott adatbázis



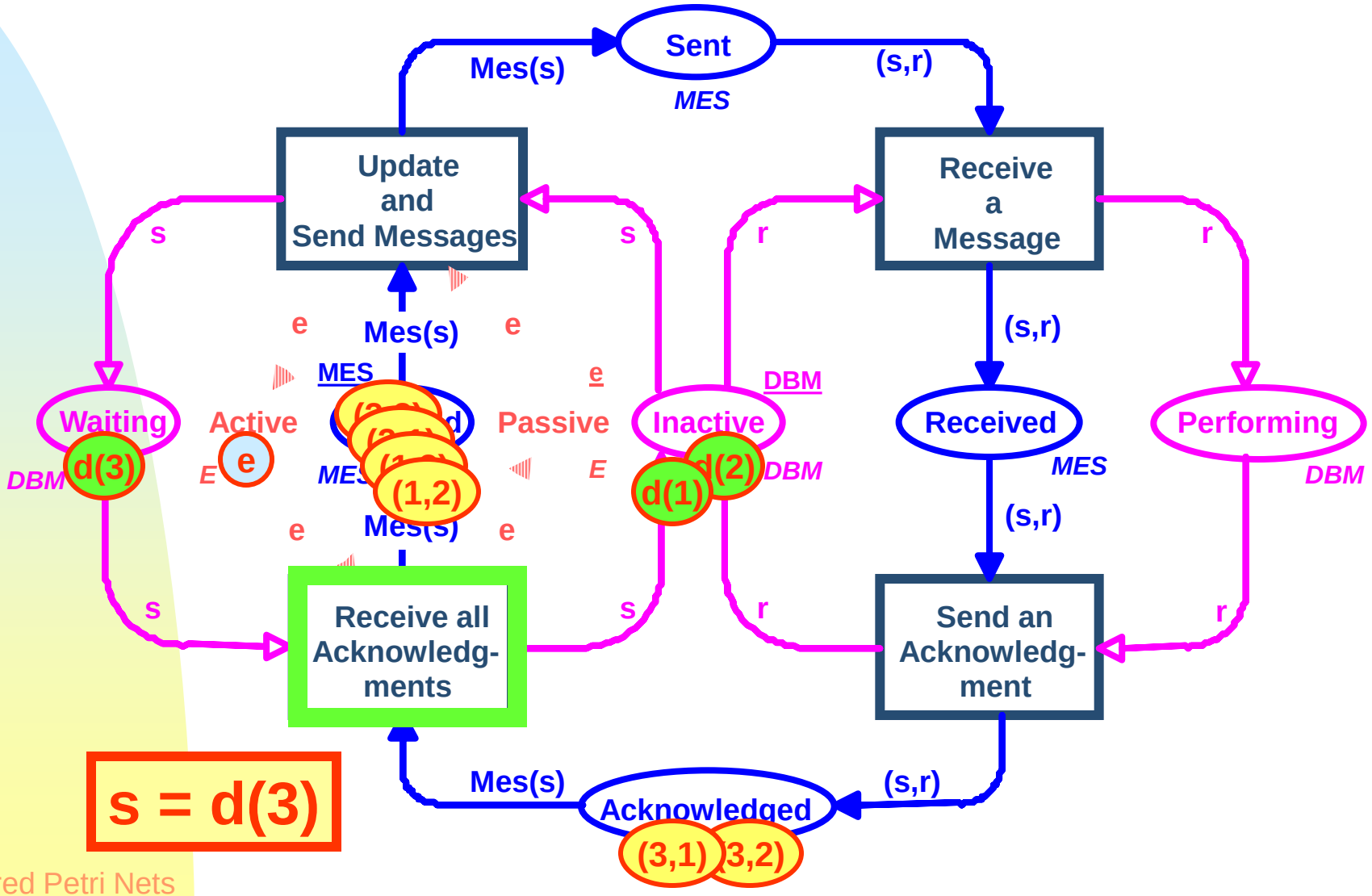
Elosztott adatbázis



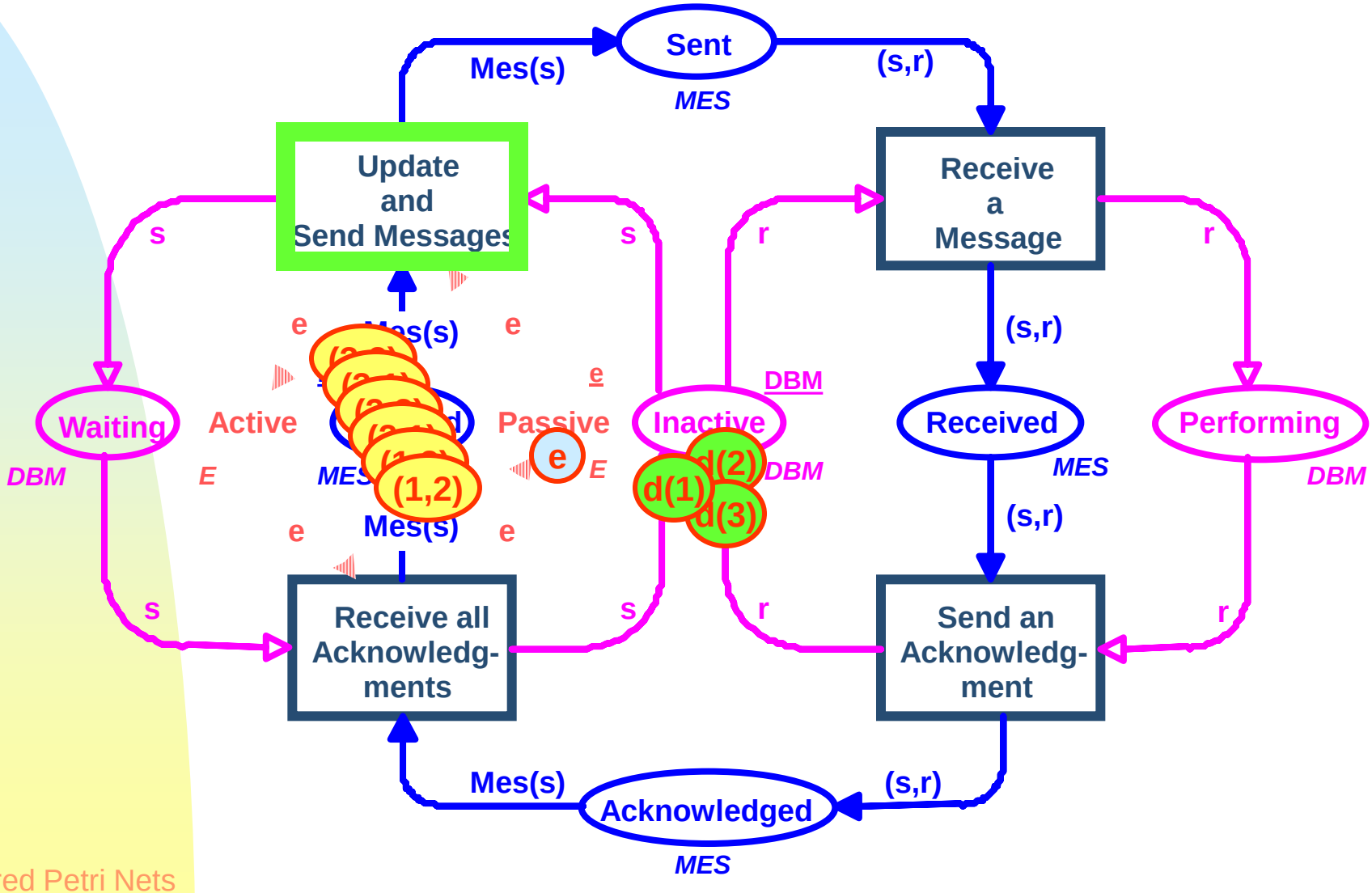
Elosztott adatbázis



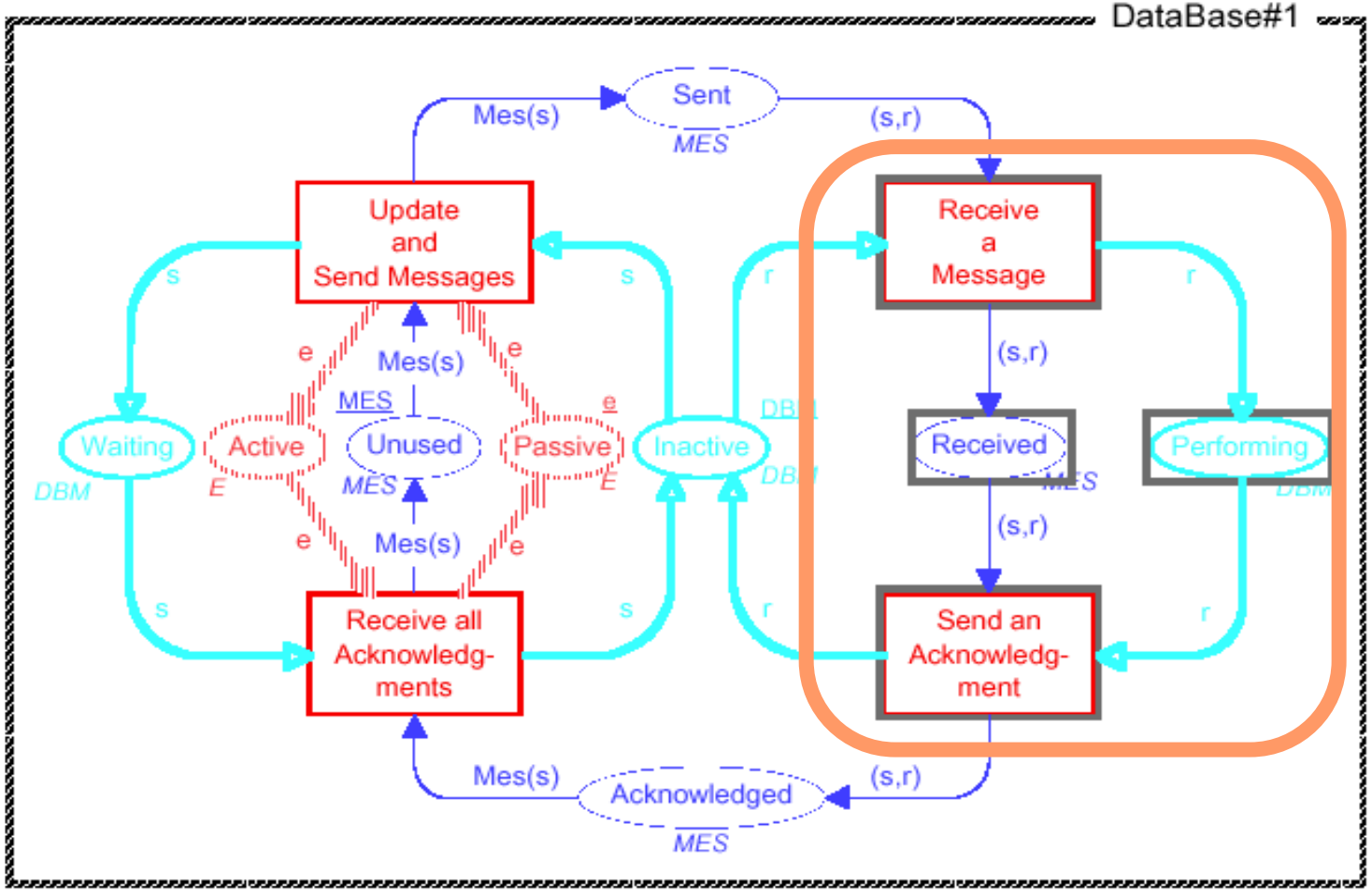
Elosztott adatbázis



Elosztott adatbázis

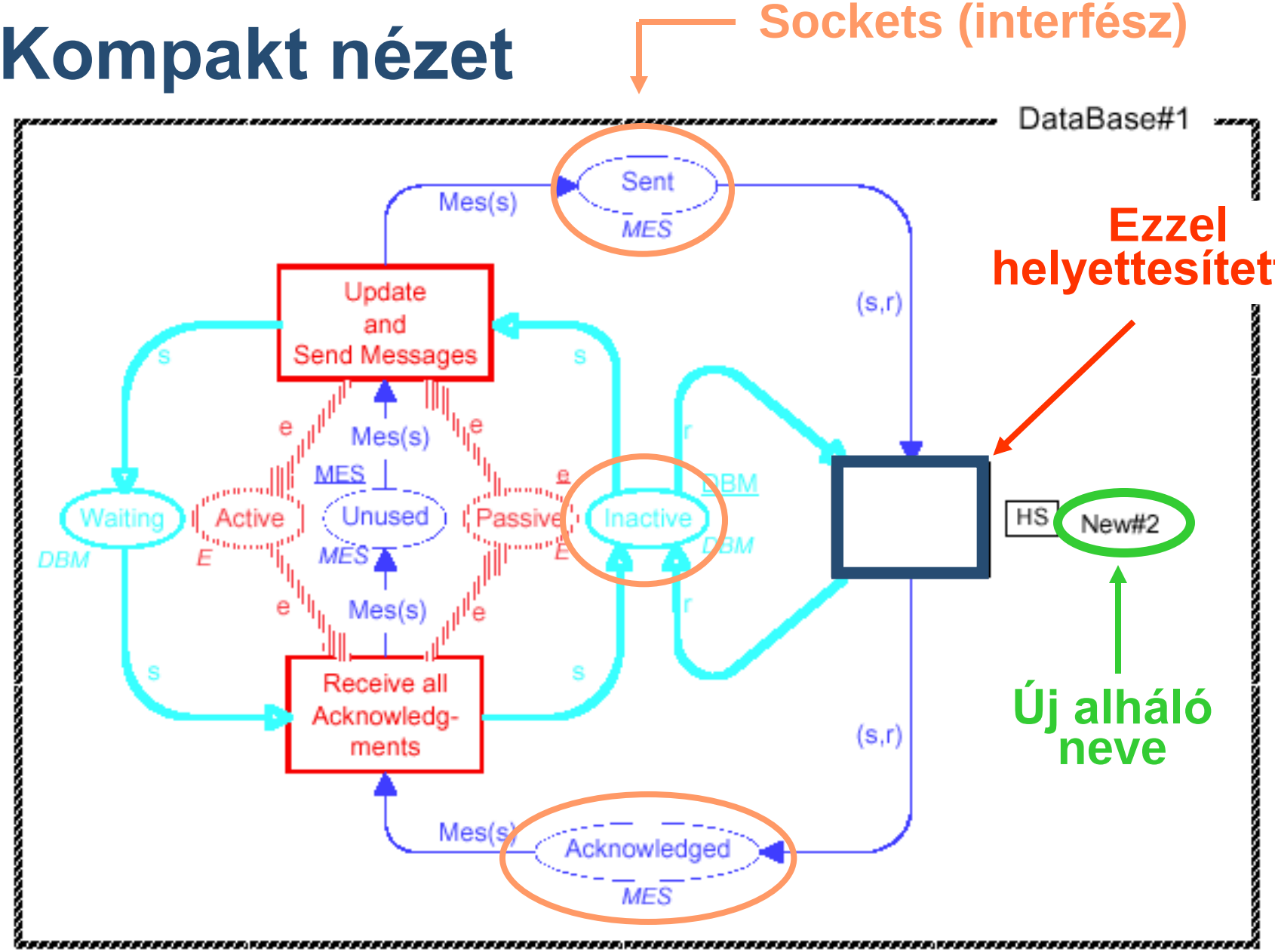


Hierarchikus modellek támogatása

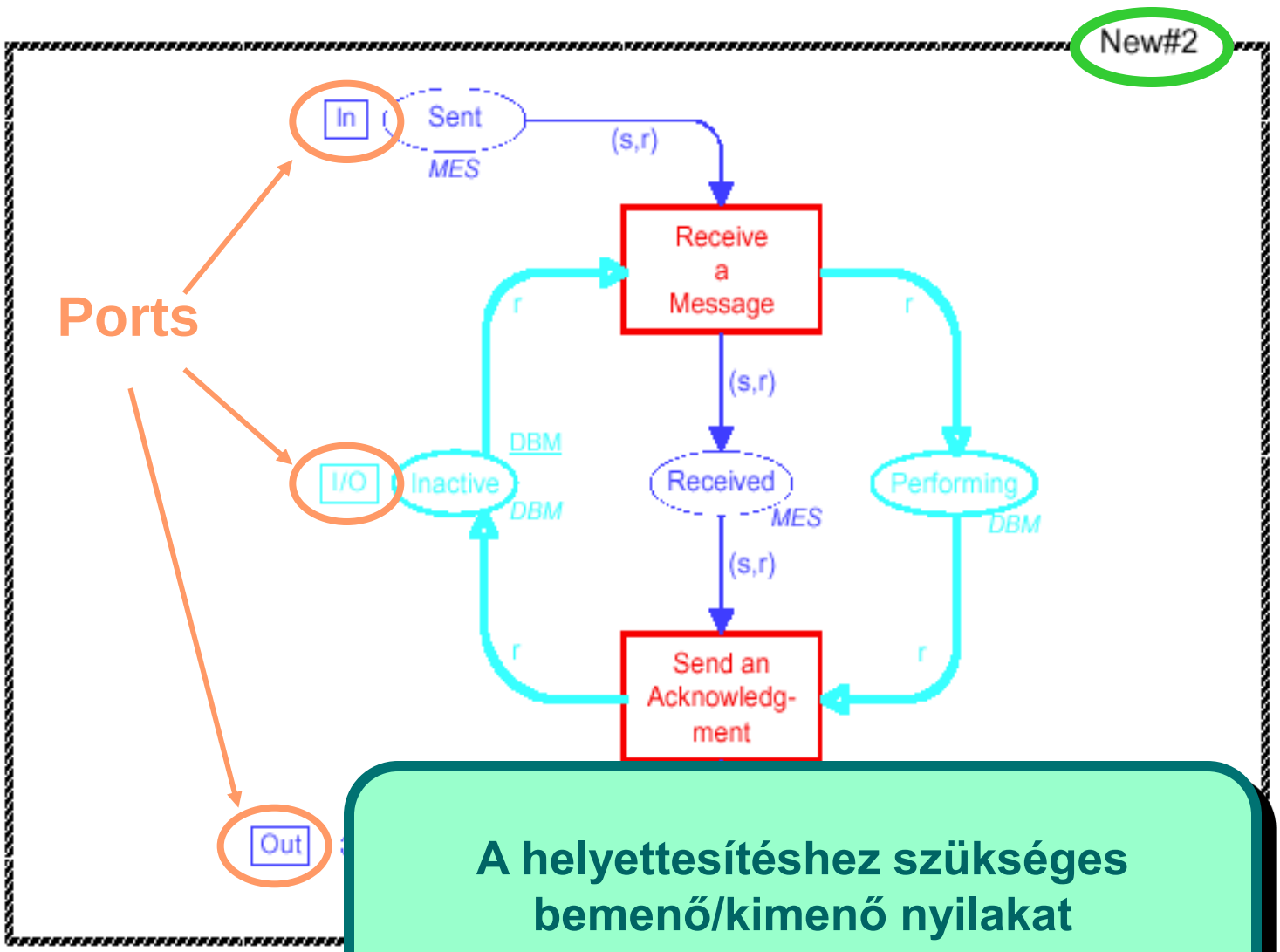


- A ***kijelölt részt*** könnyen helyettesíthetjük egyetlen alhálóval.

Kompakt nézet



Kibontott nézet



A helyettesítéshez szükséges bemenő/kimenő nyilakat *automatikusan* berajzolja CPN editor.

Hely invariánsok

Place → M(Place)

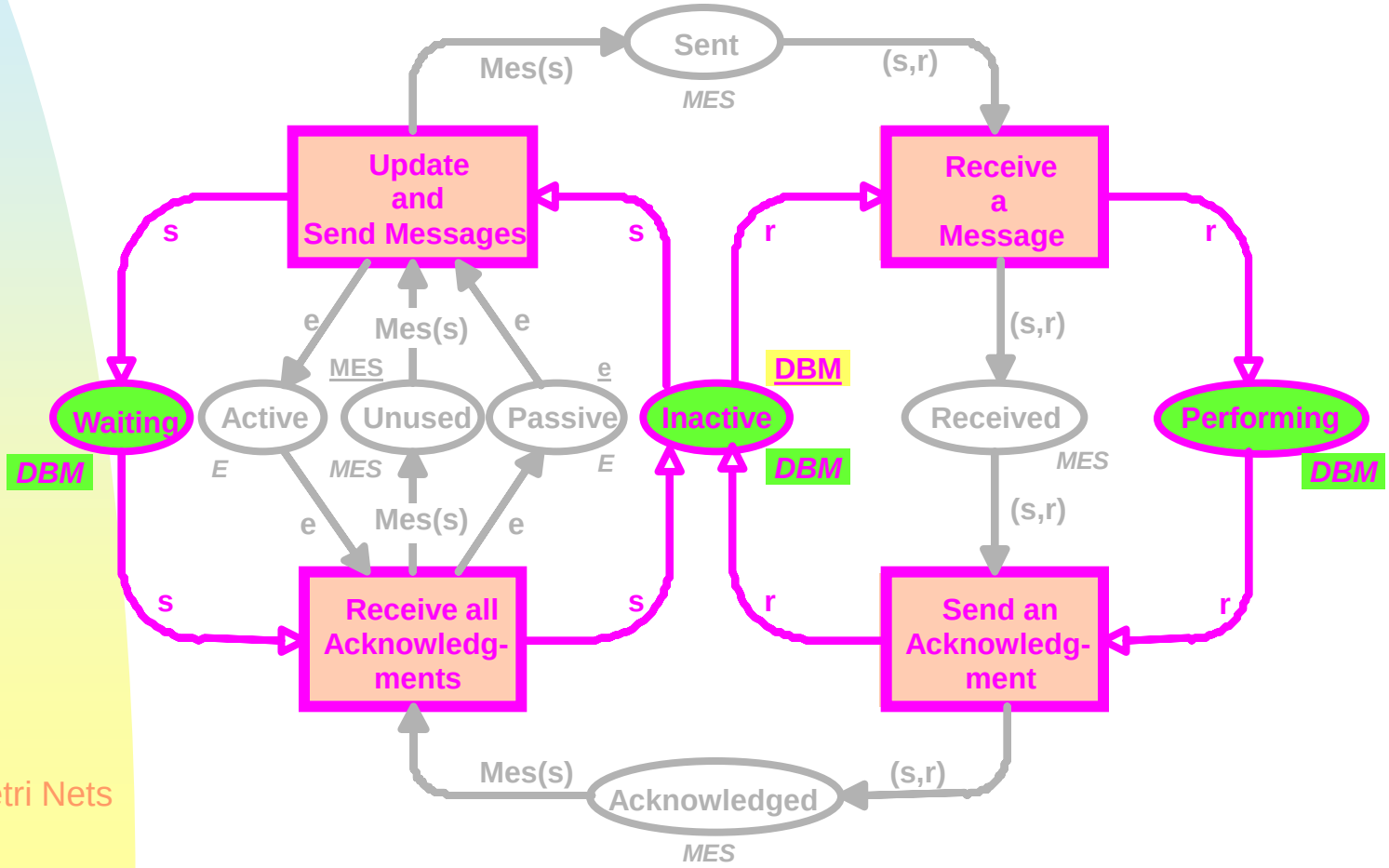
- Waiting+ Inactive + Performing = DBM
- Unused + Sent +Receive + Acknowledged = MES
- Active + Passive = E
- *Rec*(Received) = Performing
- *Mes*(Waiting) = Sent + Received + Acknowledge
- *Ign*(Waiting) = Active

Ezek *lineáris kombinációival* gyárthatunk többet.

- *Ign*(Waiting) + Passive = E

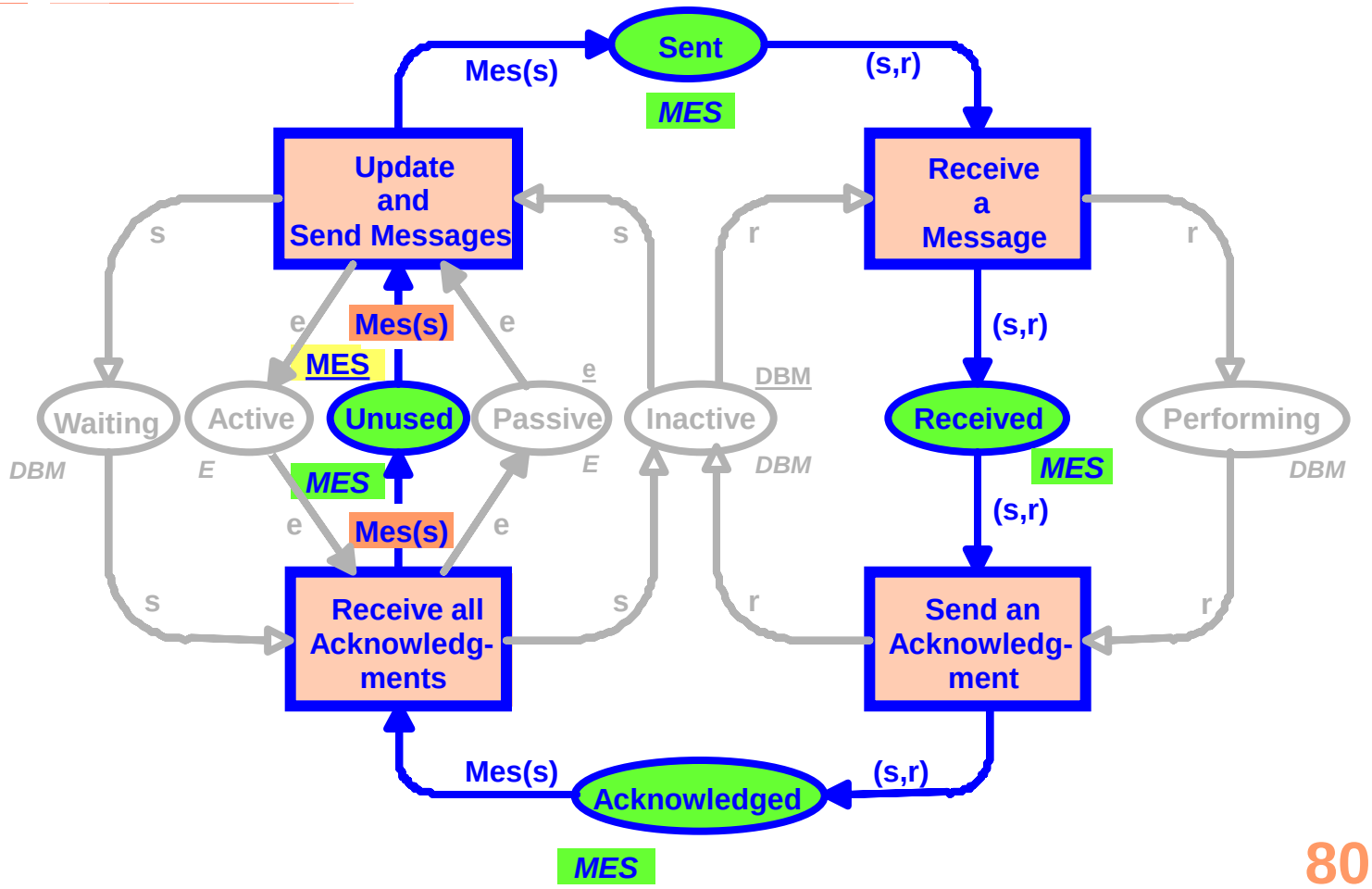
Adatbázis kezelők

M(Waiting) + M (Inactive) + M(Performing) = DBM



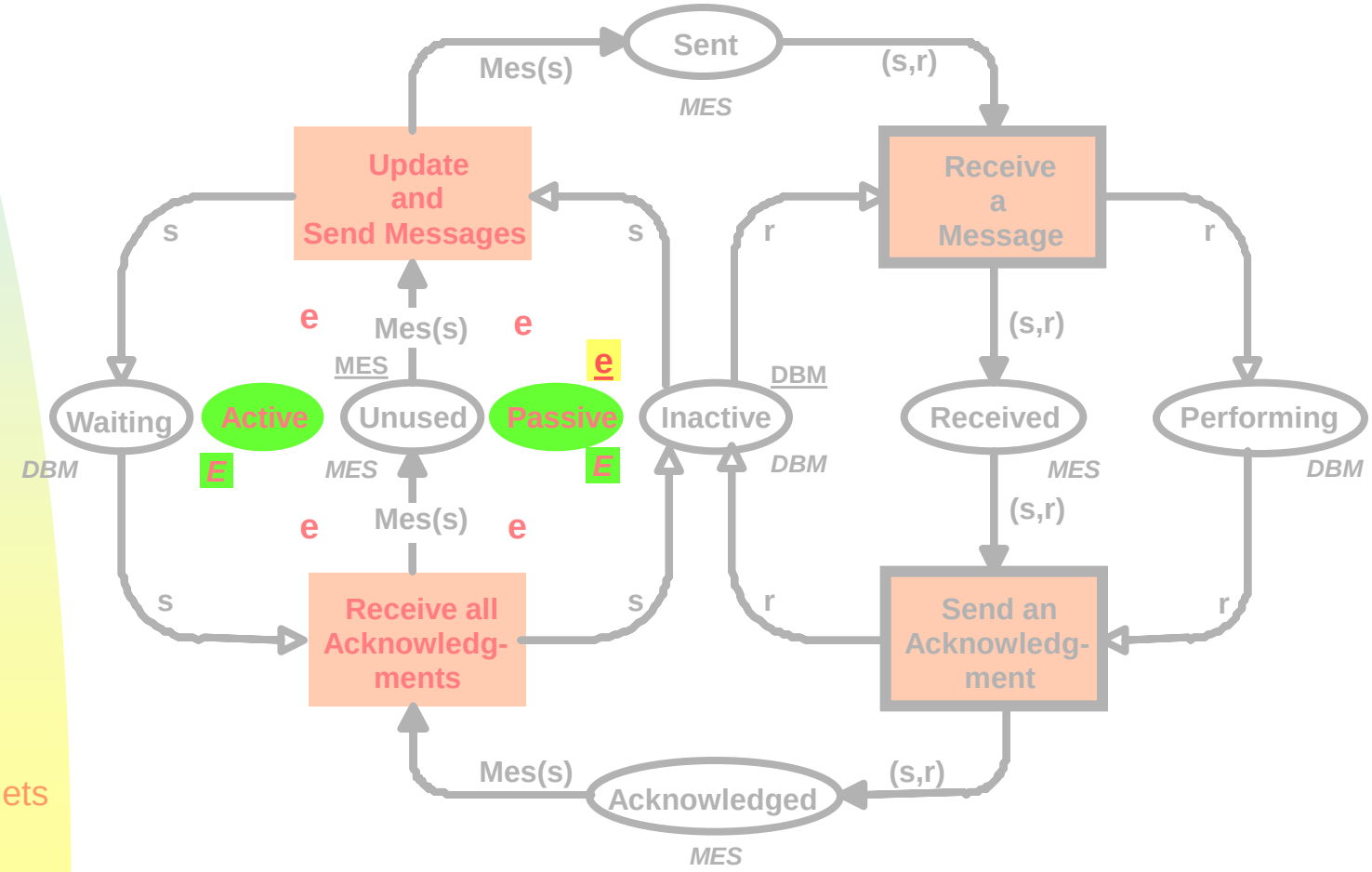
Üzenet bufferek

M(Unused) + M(Sent) + M (Received) + M(Acknowl) = MES



Kölcsönös kizárás

M(Active) + M (Passive) = E



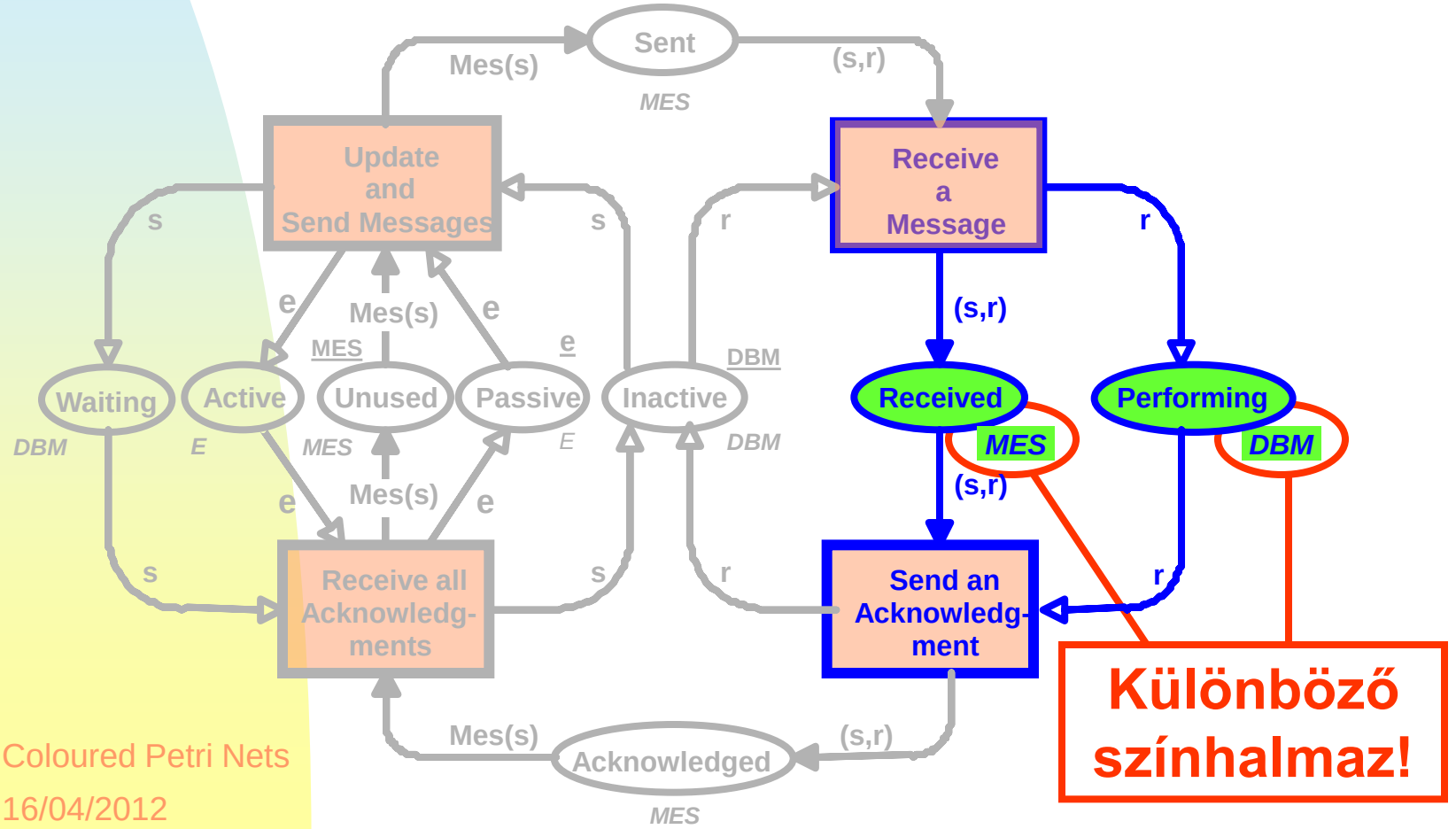
Fogadott üzenetek

Rec(s,r) = r

Súly függvény

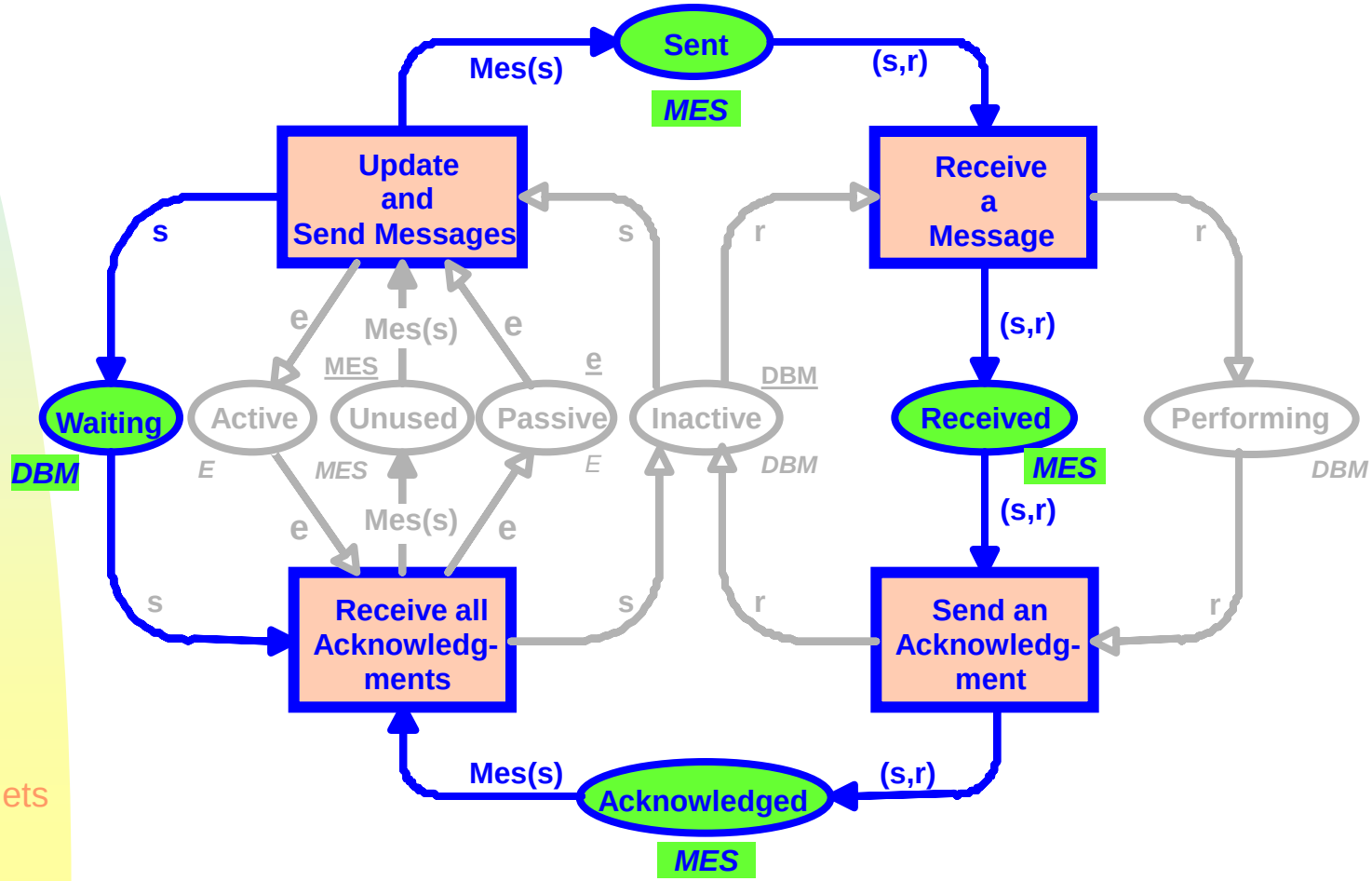
MES → DBM

Rec(M(Received)) = M(Performing)



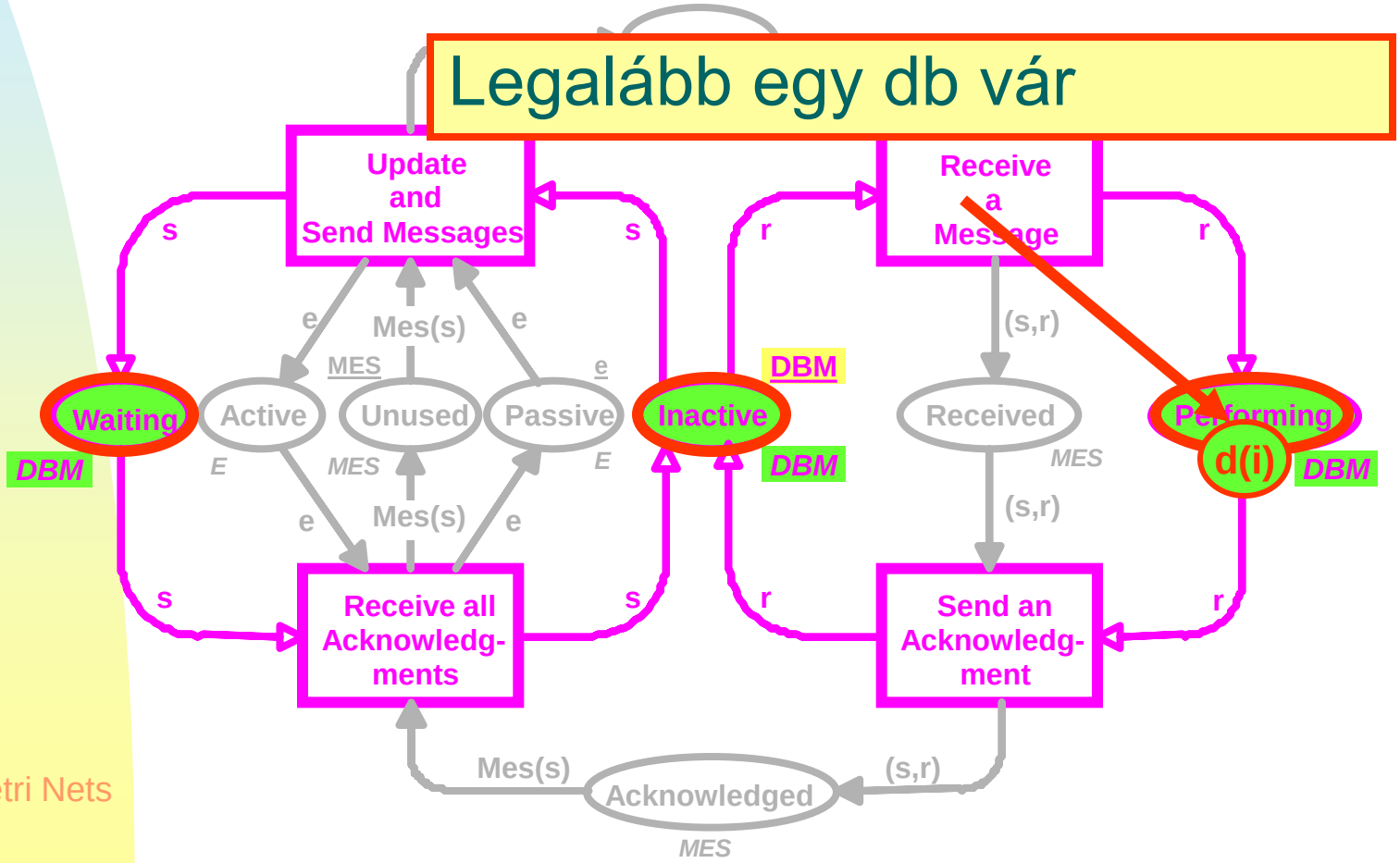
Használt üzenetek

Mes(Waiting) = M(Sent) + M (Received) + M(Acknowledged)



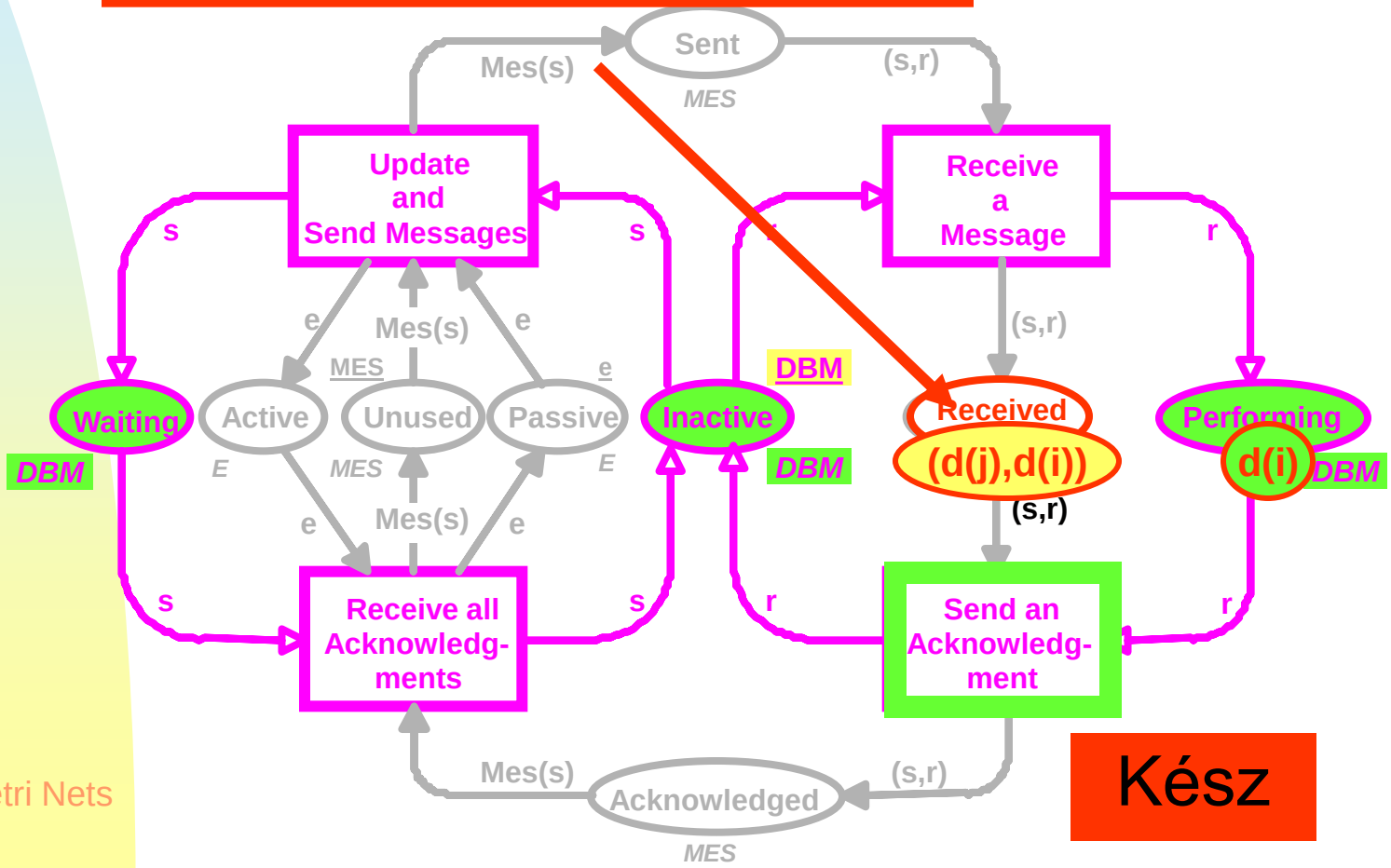
M(Waiting) + M (Inactive) + M(Performing) = DBM

Minden adatkezelő:



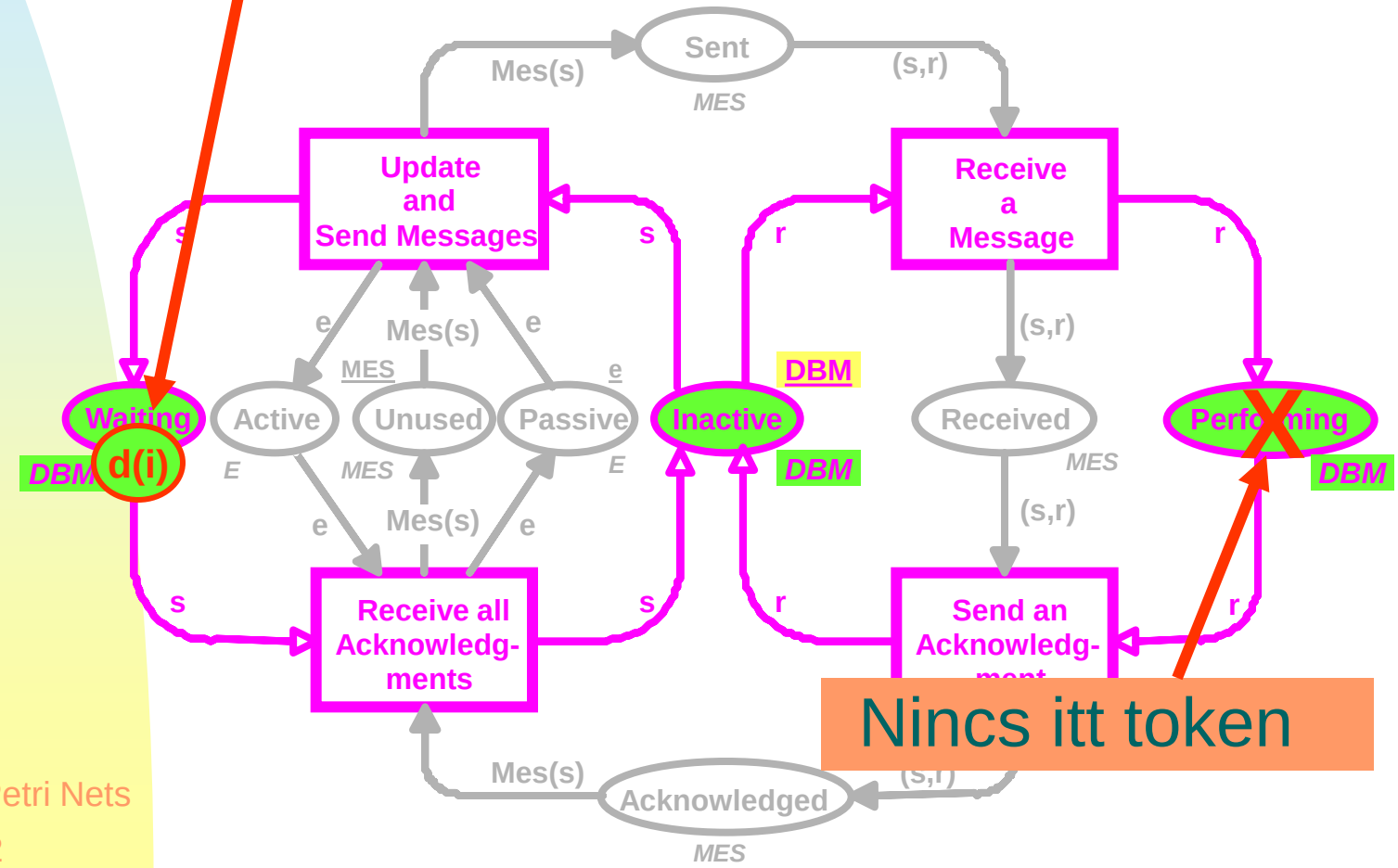
Rec(M(Received)) = M(Performing)

Ez az üzenet buffer:
Received with d(i)



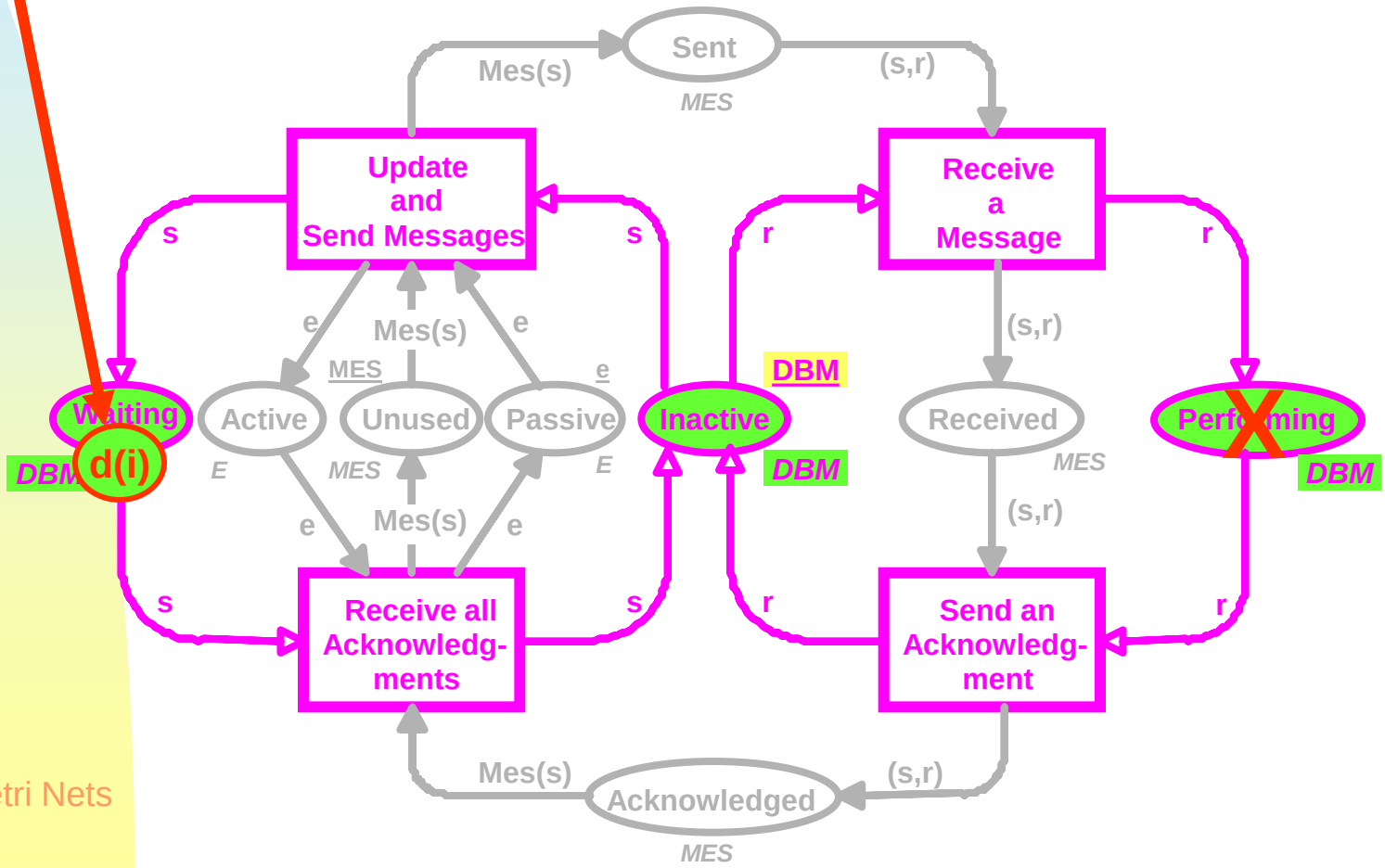
Kész

Most azt tesszük fel, hogy legalább egy kezelő VAR



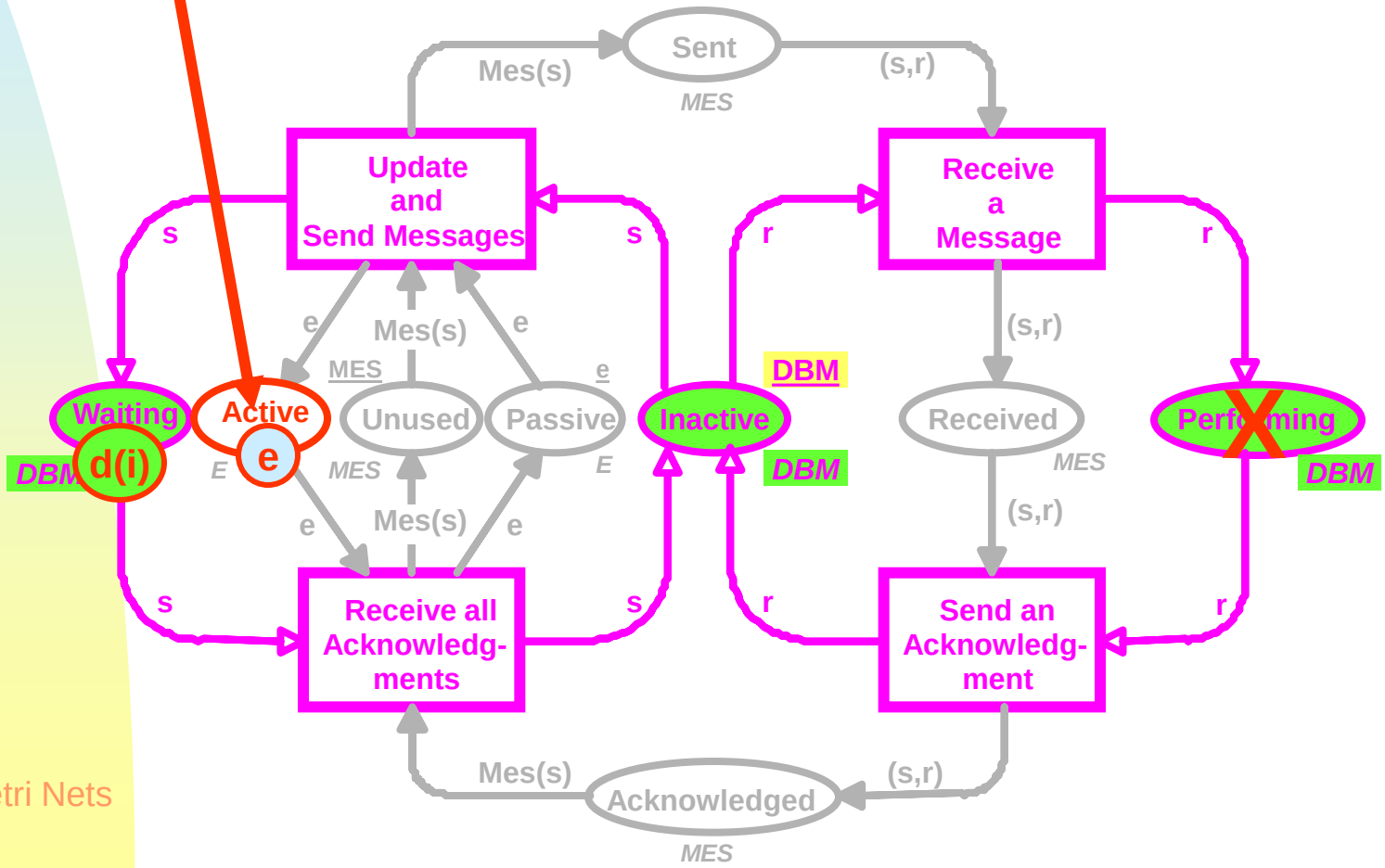
Ign(Waiting) + Passive = E

Pontosan egy token várakozik



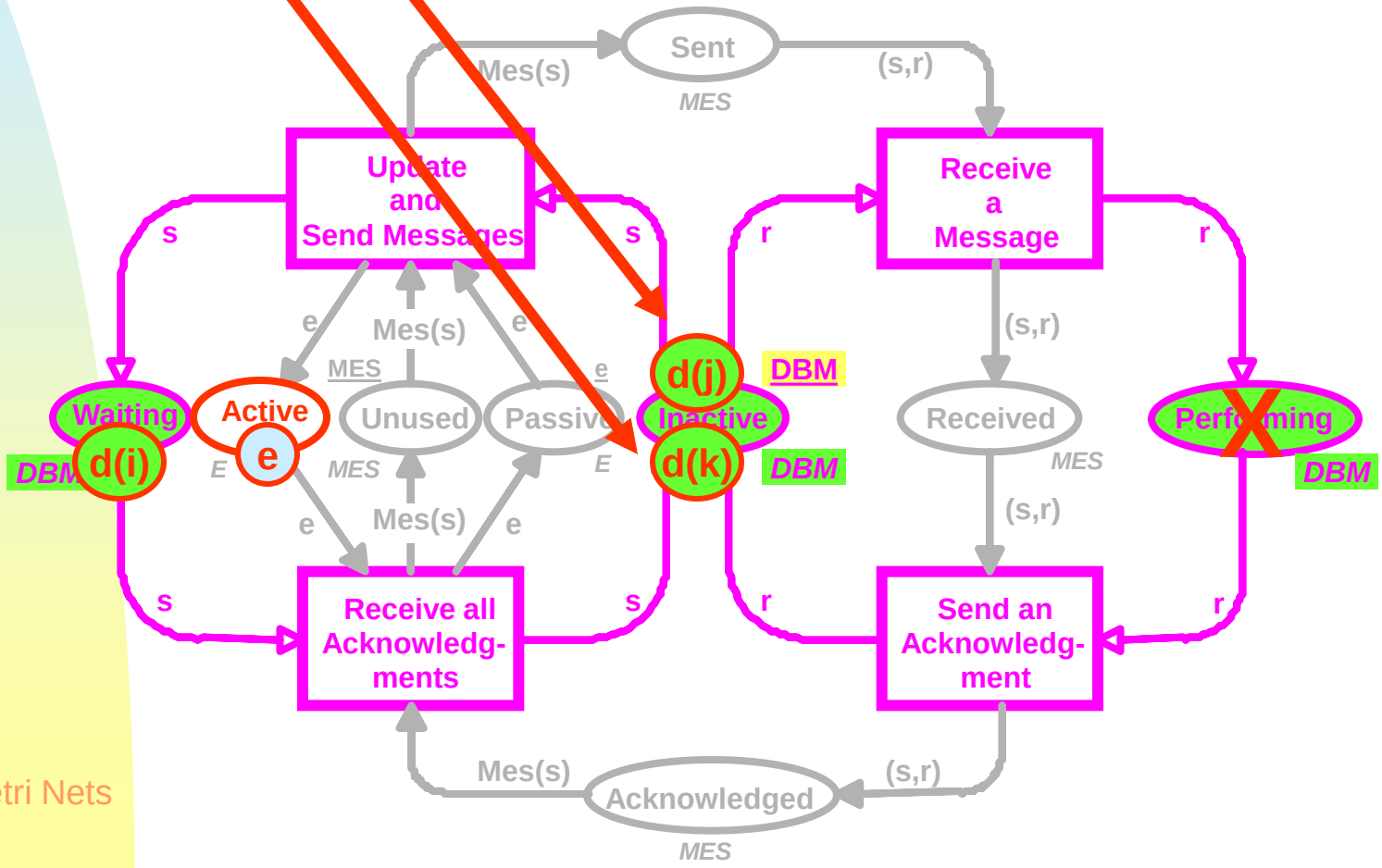
Ign(Waiting) = Active

Pontosan egy token aktív



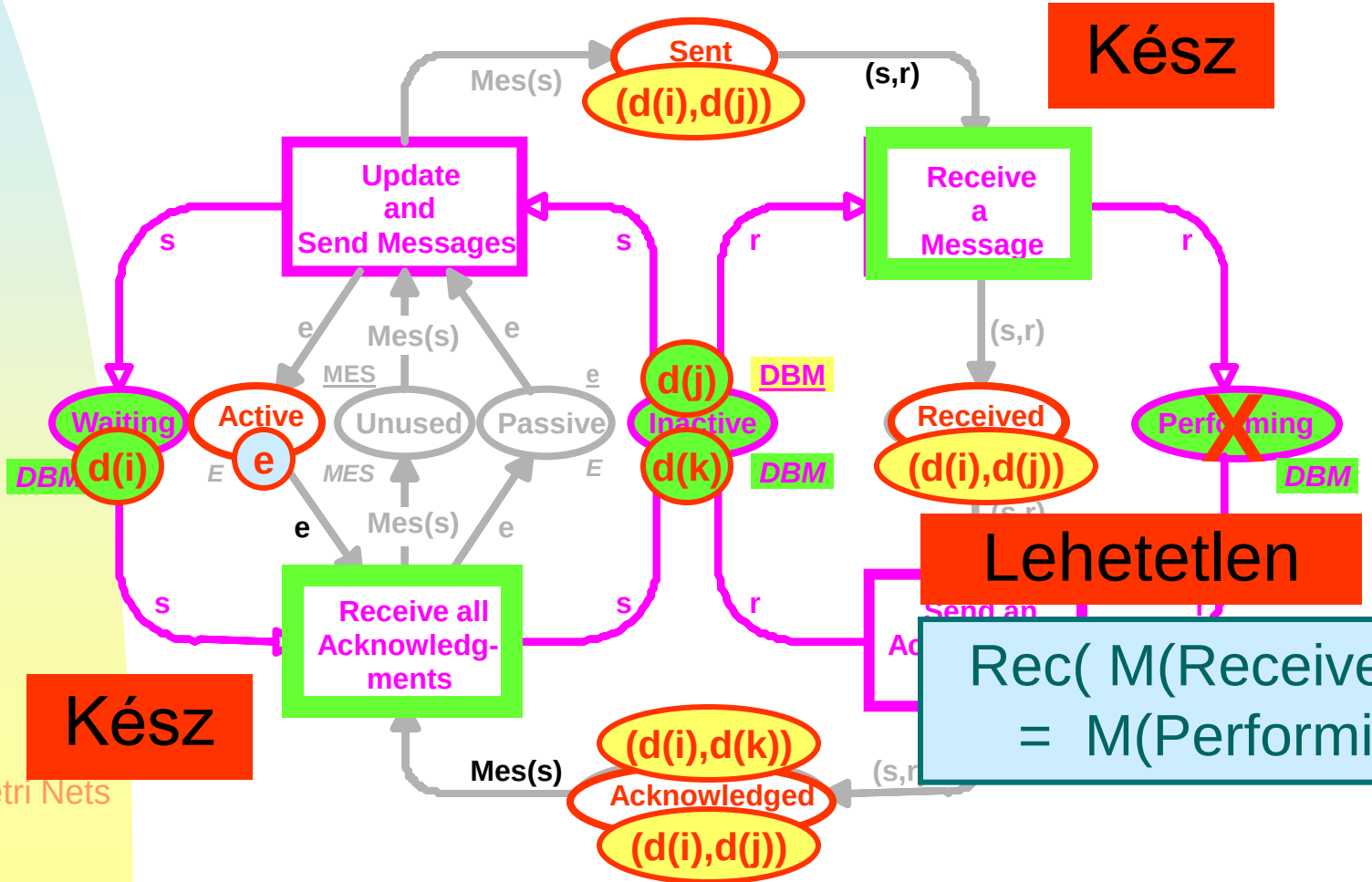
M(Waiting) + M (Inactive) + M(Performing) = DBM

Nincs több aktív adatbázis kezelő



Mes(Waiting) = M(Sent) + M (Received) + M(Acknowledged)

A d(i) által küldött üzeneteknek ennek kell lennie:



Kész

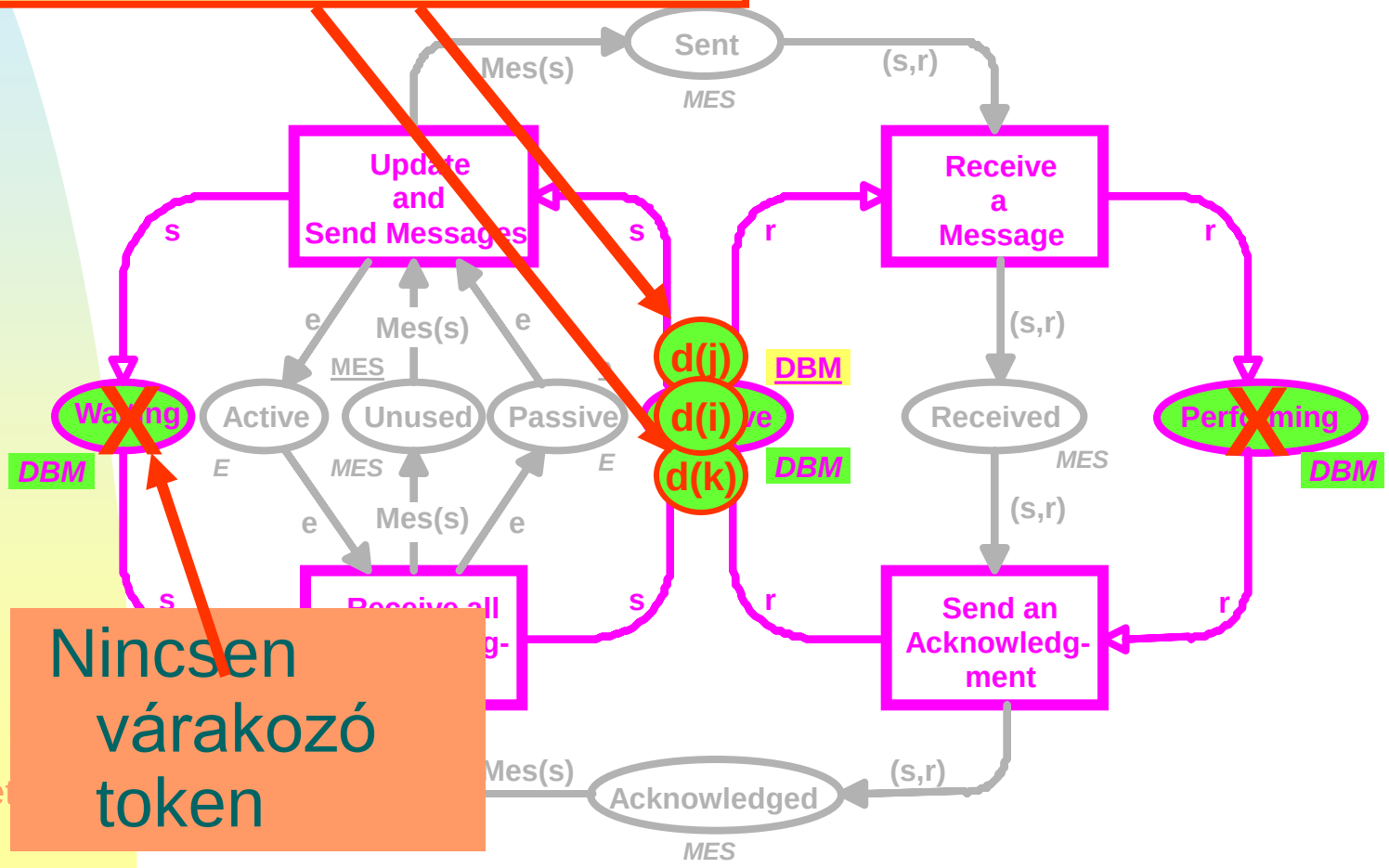
Kész

Lehetetlen

Rec(M(Received)) = M(Performing)

M(Waiting) + M (Inactive) + M(Performing) = DBM

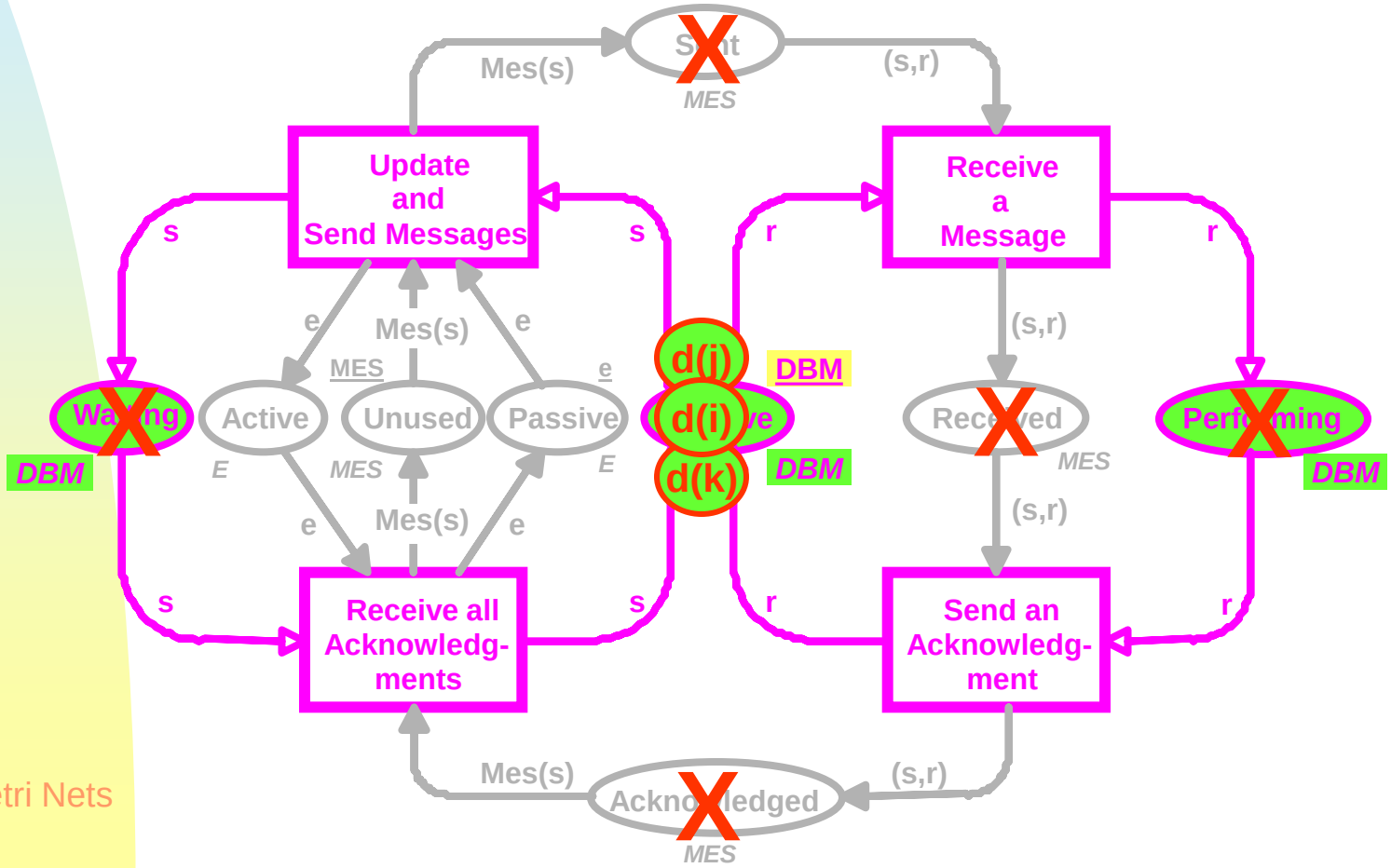
Nincsen aktív adatbázis kezelő



Nincsen várakozó token

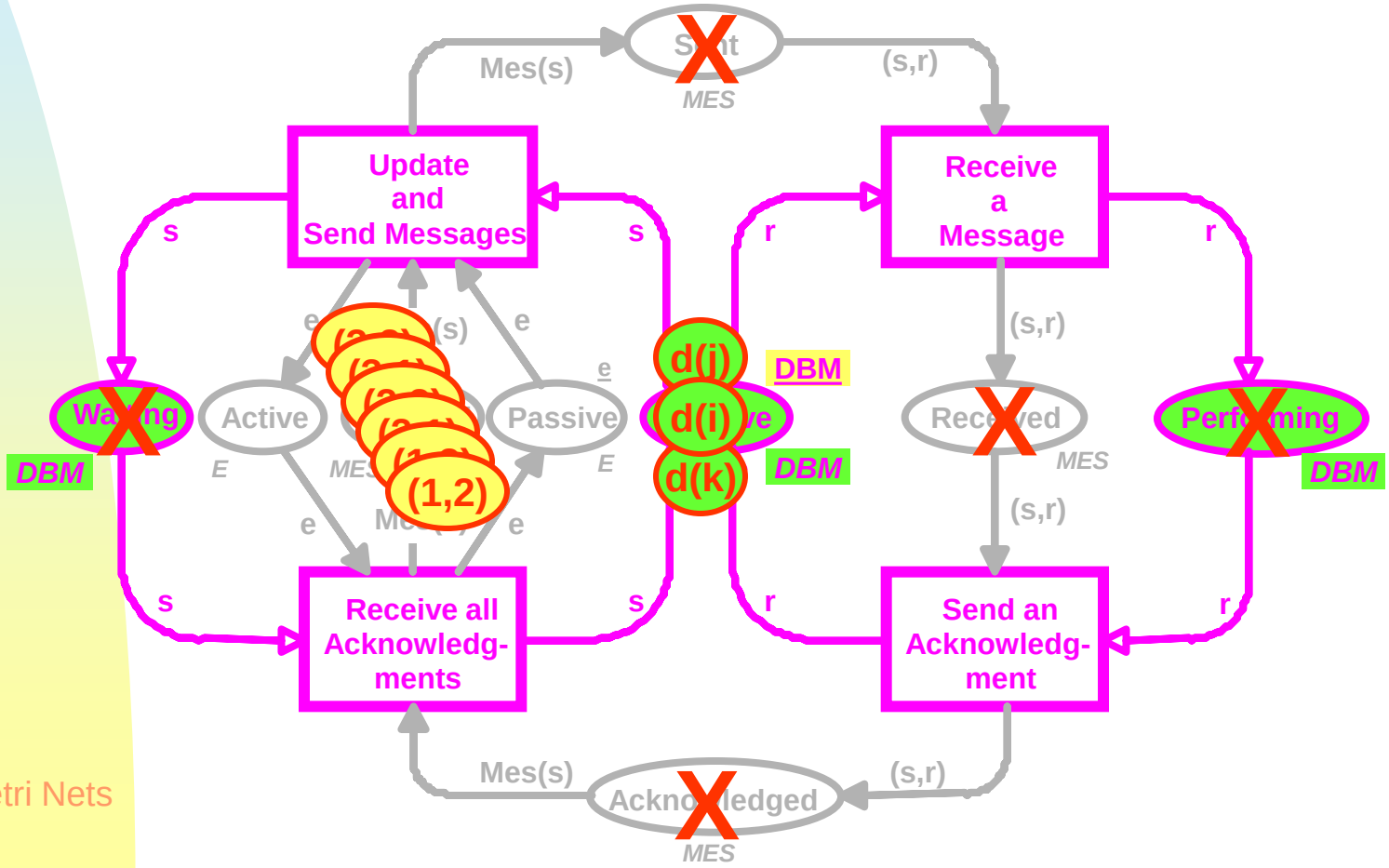
Mes(Waiting) = M(Sent) + M (Received) + M(Acknowledged)

Nincsen elküldött, várakozó és nyugta token



M(Unused) + M(Sent) + M (Received) + M(Acknowl) = MES

Az üzenetbufferek üresek:

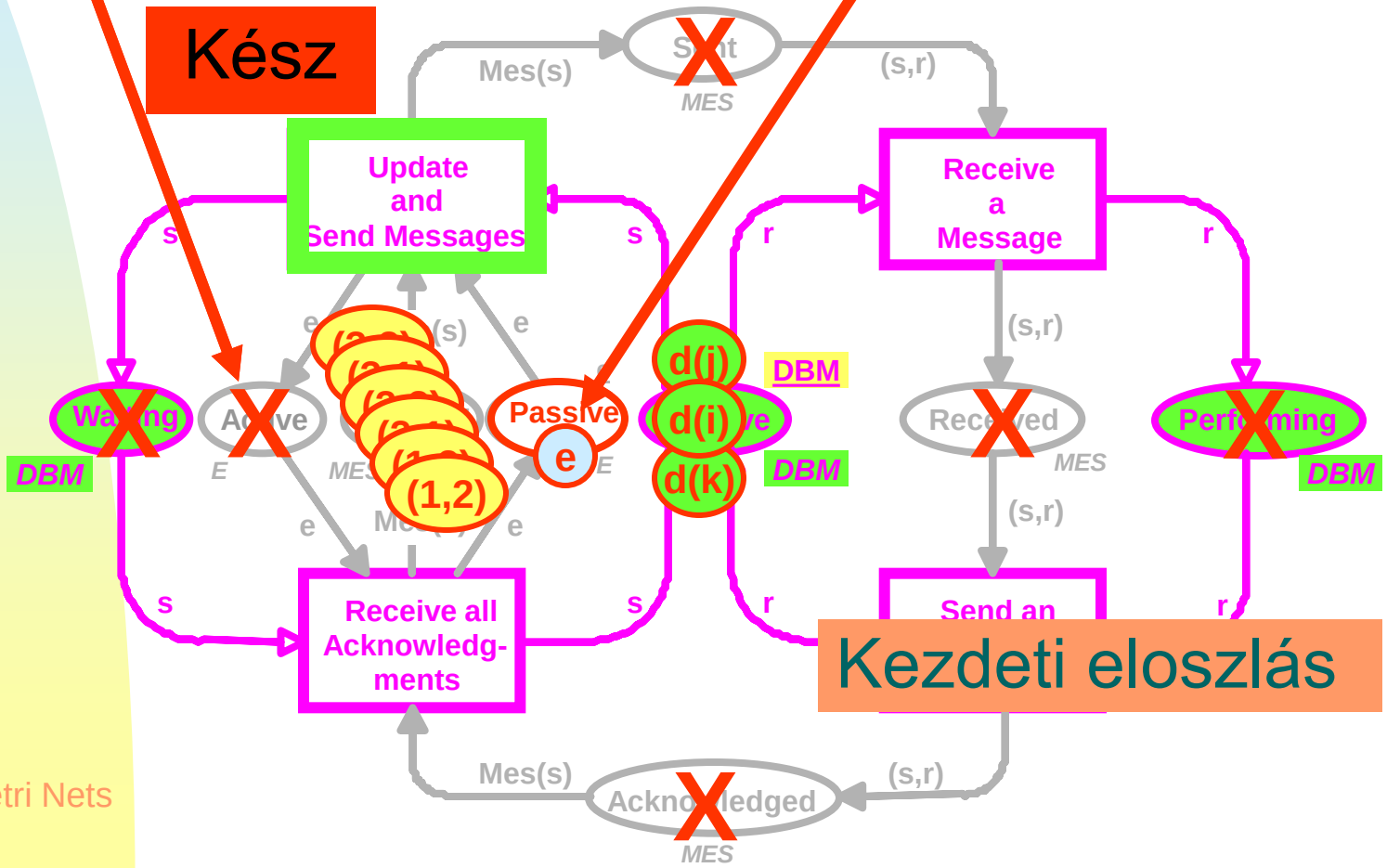


Ign(Waiting) = Active

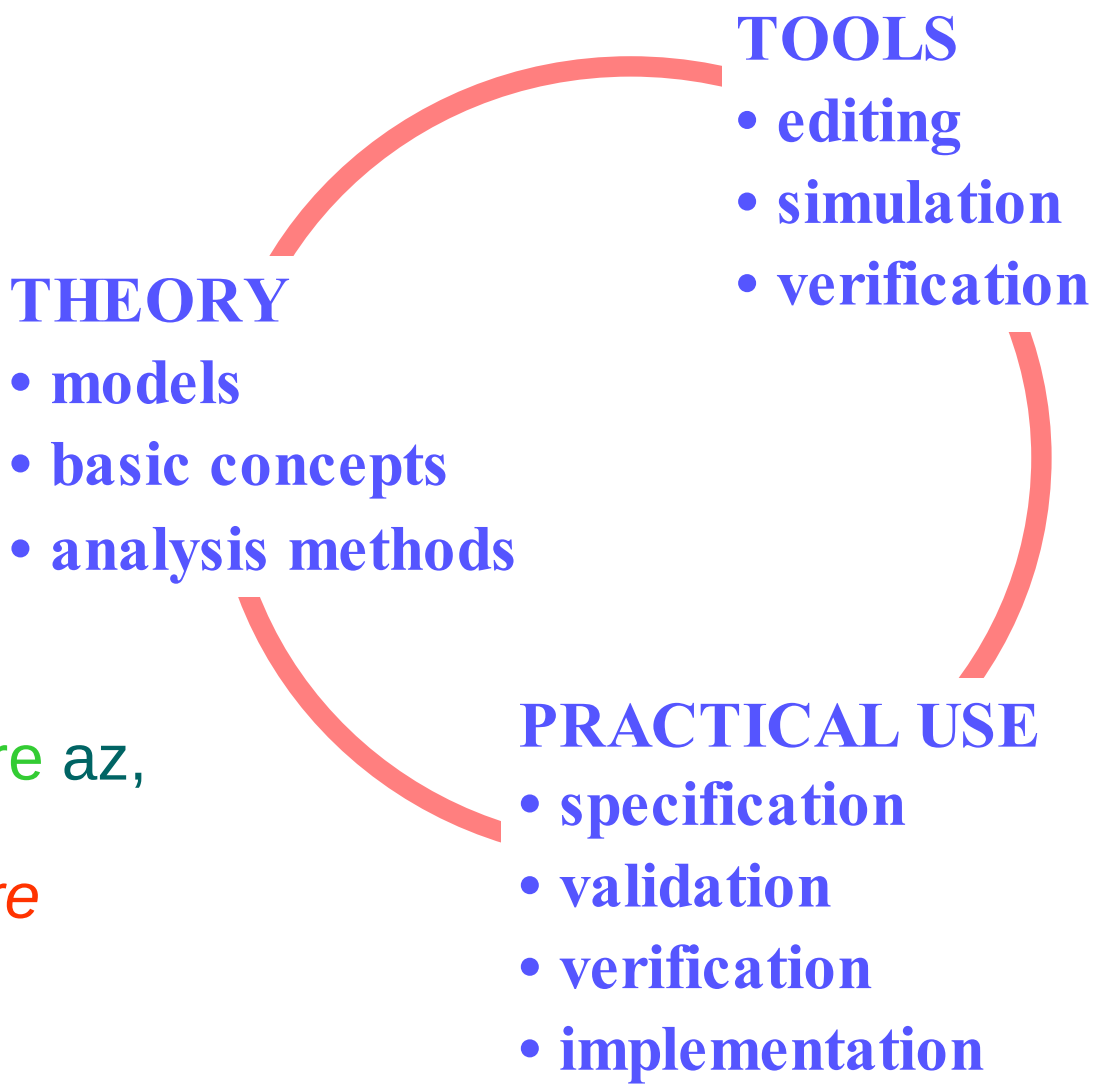
Active + Passive = E

Nincsen aktív token

Egy e-token Passive



Konklúzió



- A CPN egyik sikere az, hogy mindhárom területen *egyszerre* használható.

További információk CPN-ről

- Az alábbi *WWW oldalakon* nagyon sok hasznos információt találhatunk CPN-ről és a tool-októl:
  http://www.daimi.au.dk/CPnets/
- *Bevezetés a CPN-be*, itt rengeteg példát találhatunk.
- Manual *Design/CPN-hez* és *CPN Tools-hoz*.
  - Ezek az eszközök még *szabadon használhatóak* ipari célokra is.
- Több mint 50 publikáció található amelyek különböző *ipari megoldásokat* mutat be.
- Létezik egy 3-kötetes *CPN könyv*.