

エージェント指向ペトリネットの 理論的解析について

平石 邦彦

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

hira@jaist.ac.jp

内容

1. マルチエージェントシステムの概念
2. エージェント指向ペトリネット PN^2 (“Petri Nets in a Petri Net”)
 - ペトリネットの発展としてのオブジェクト指向 / エージェント指向
 - モデル化の例: -計算との比較
 - 定義
 - P/Tネットによるシミュレート
 - PN^2 による分散制御の形式化
 - 数理的解析: 接続行列, 状態方程式, インバリアント
3. おわりに

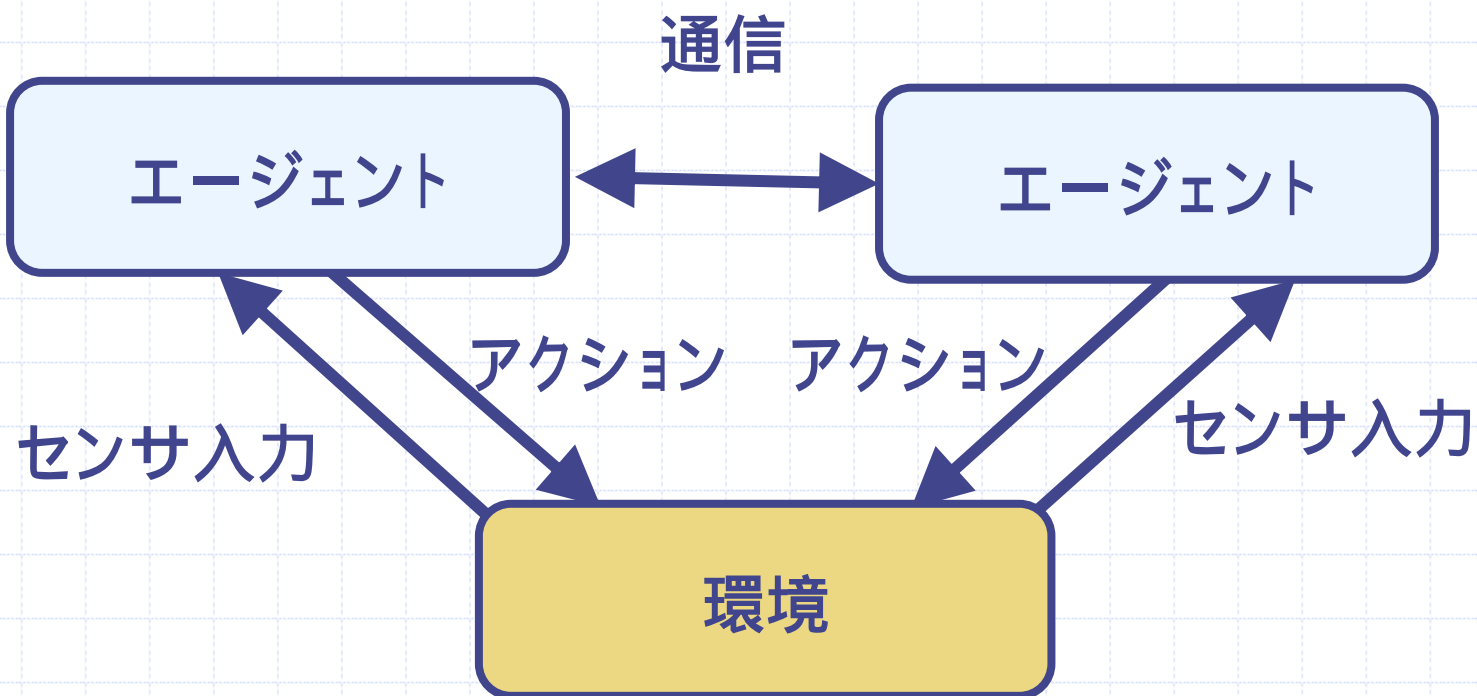
エージェントの概念

◆ エージェント (Agent):

“An agent is a computer system that is situated in some *environment*, and that is capable of *autonomous* action in this environment in order to meet its *design objectives*.”

(G. Weiss (ed.): Multiagent Systems – A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence, The MIT Press, 1999).

エージェントの概念



エージェント

- ◆ 一般にエージェントは環境に対し完全な制御はできず、部分的にしか変更できない。
- ◆ 環境には静的なものと動的なものがある。例：AGVシステムの軌道(静的環境)と他のAGVの存在(動的環境)。
- ◆ エージェントが可能な動作集合は環境に依存する。
例：「テーブルを持ち上げる」という動作は、テーブルがそのエージェントにとって持ち上げられるくらい軽いときのみ可能である。
- ◆ エージェントどうしは必要に応じて協調することにより、自己の設計目的を達成する。

マルチエージェントシステム

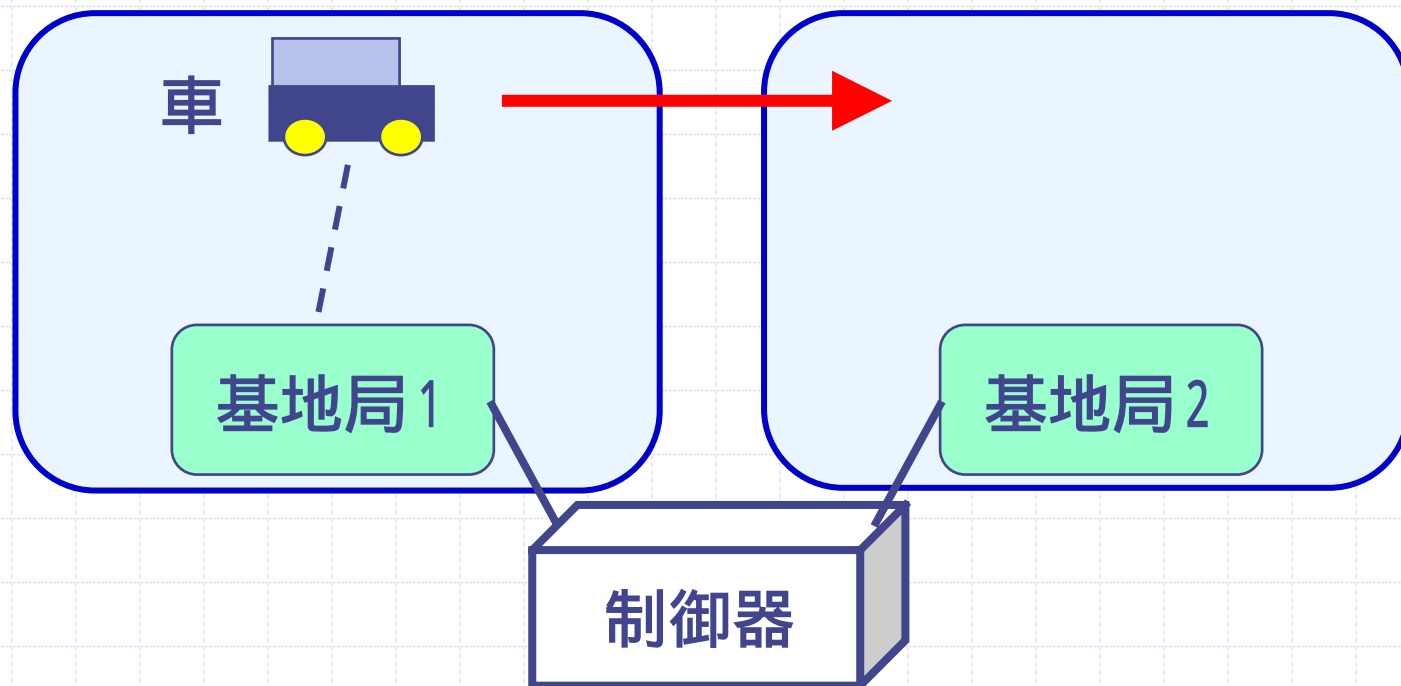
- ◆ マルチエージェントシステム = 環境 + 複数のエージェント。
 - 環境の表現
 - 個々のエージェントの状態遷移
 - それらのインタラクション
- ◆ これらを記述するフォーマルモデルの必要性。

-計算

- ◆ -計算[R. Milner] : プロセス代数の一種 .
- ◆ プロセス間の通信チャンネル自体を送信することにより , 通信網の動的な変更を可能にしている .
- ◆ エージェントの移動を通信相手の変更という形でモデル化する .

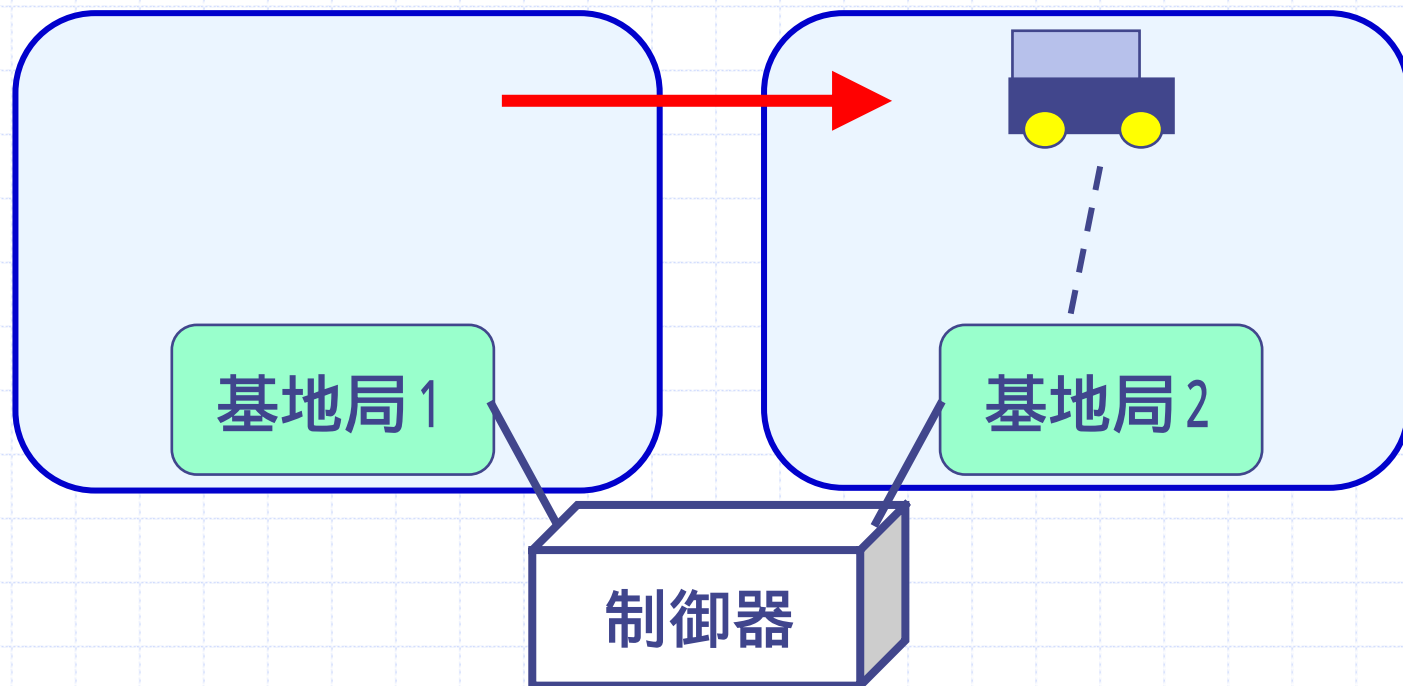
例：自動車電話

- ◆ 自動車が基地局と接続しており，自動車が移動すると，中央の制御器の指令により接続している基地局が切り替わる．
- ◆ 1台の自動車，2つの基地局からなる場合．



例：自動車電話

- ◆ 自動車が基地局と接続しており，自動車が移動すると，中央の制御器の指令により接続している基地局が切り替わる．
- ◆ 1台の自動車，2つの基地局からなる場合．



-計算による表現(1)

- ◆ 基地局 *Trans* は通信リンクを表す4つのパラメータをもつ.

$$Trans\langle talk_1, switch_1, gain_1, lose_1 \rangle$$

- ◆ 基地局が中央制御器から自動車との接続を切る指令を受け取ると($lose(t, s)$), 基地局は自動車に接続を切り替える指令を出す($\overline{switch}\langle t, s \rangle$).

$$Trans(talk, switch, gain, lose) \equiv$$

$$talk.Trans\langle talk, switch, gain, lose \rangle$$

$$+ lose(t, s).\overline{switch}\langle t, s \rangle.Idtrans\langle gain, lose \rangle.$$

$$Idtrans(gain, lose) \equiv gain(t, s).Trans\langle t, s, gain, lose \rangle.$$

-計算による表現(2)

- ◆ 中央制御器は移動先の基地局に新しい通信チャンネルを送る($\overline{gain_2} \langle talk_2, switch_2 \rangle$) .

$$Control_1 \equiv \overline{lose_1} \langle talk_2, switch_2 \rangle . \overline{gain_2} \langle talk_2, switch_2 \rangle . Control_2 .$$

$$Control_2 \equiv \overline{lose_2} \langle talk_1, switch_1 \rangle . \overline{gain_1} \langle talk_1, switch_1 \rangle . Control_1 .$$

-計算による表現(3)

- ◆ 自動車は基地局と通信するか(\overline{talk}), あるいは, 別の基地局に接続を切り替える($switch(t, s)$).

$$Car(talk, switch) \equiv \overline{talk}.Car\langle talk, switch \rangle + switch(t, s).Car\langle t, s \rangle.$$

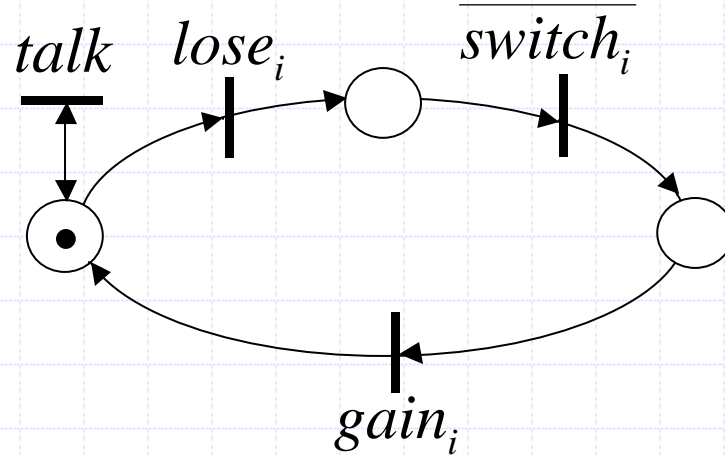
-計算による表現(4)

◆ システム全体:

$System \equiv \mathbf{new} \textit{talk}_1, \textit{switch}_1, \textit{gain}_1, \textit{lose}_1,$
 $\textit{talk}_2, \textit{switch}_2, \textit{gain}_2, \textit{lose}_2$

$(\textit{Car}\langle \textit{talk}_1, \textit{switch}_1 \rangle |$
 $\textit{Trans}\langle \textit{talk}_1, \textit{switch}_1, \textit{gain}_1, \textit{lose}_1 \rangle |$
 $\textit{Idtrans}\langle \textit{gain}_2, \textit{lose}_2 \rangle |$
 $\textit{Control}_1).$

PN^2 による表現(1)



エージェントネット $Trans_i$

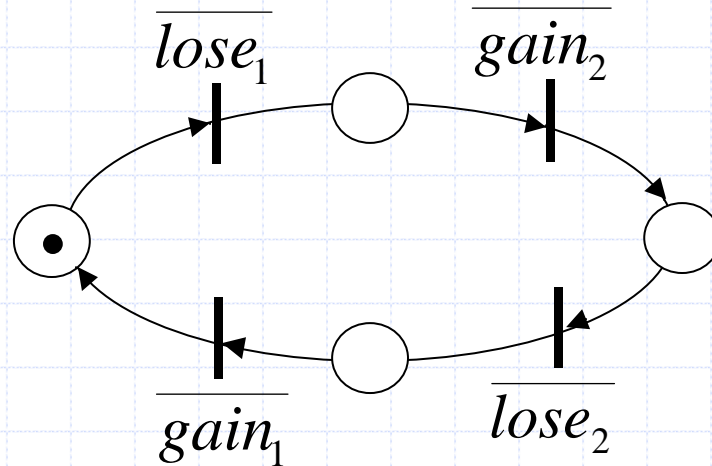
$Trans(talk, switch, gain, lose) \equiv$

$talk.Trans\langle talk, switch, gain, lose \rangle$

$+ lose(t, s). \overline{switch}\langle t, s \rangle. Idtrans\langle gain, lose \rangle.$

$Idtrans(gain, lose) \equiv gain(t, s).Trans\langle t, s, gain, lose \rangle.$

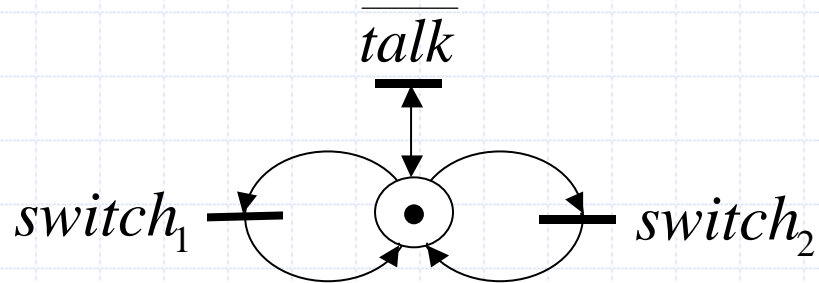
PN^2 による表現(2)



エージェントネット *Control*

$$Control_1 \equiv \overline{lose_1} \langle talk_2, switch_2 \rangle . \overline{gain_2} \langle talk_2, switch_2 \rangle . Control_2 .$$
$$Control_2 \equiv \overline{lose_2} \langle talk_1, switch_1 \rangle . \overline{gain_1} \langle talk_1, switch_1 \rangle . Control_1 .$$

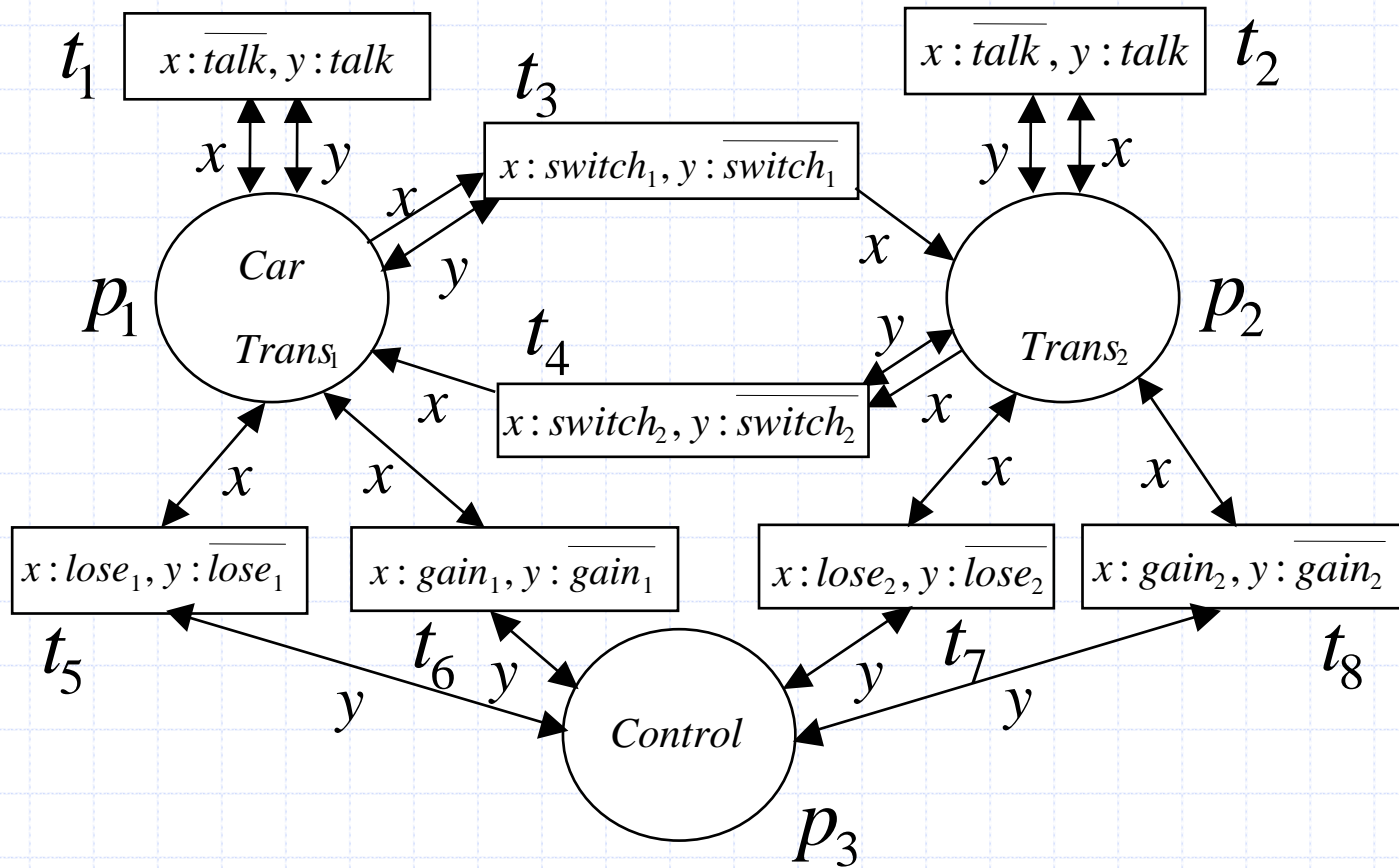
PN^2 による表現(3)



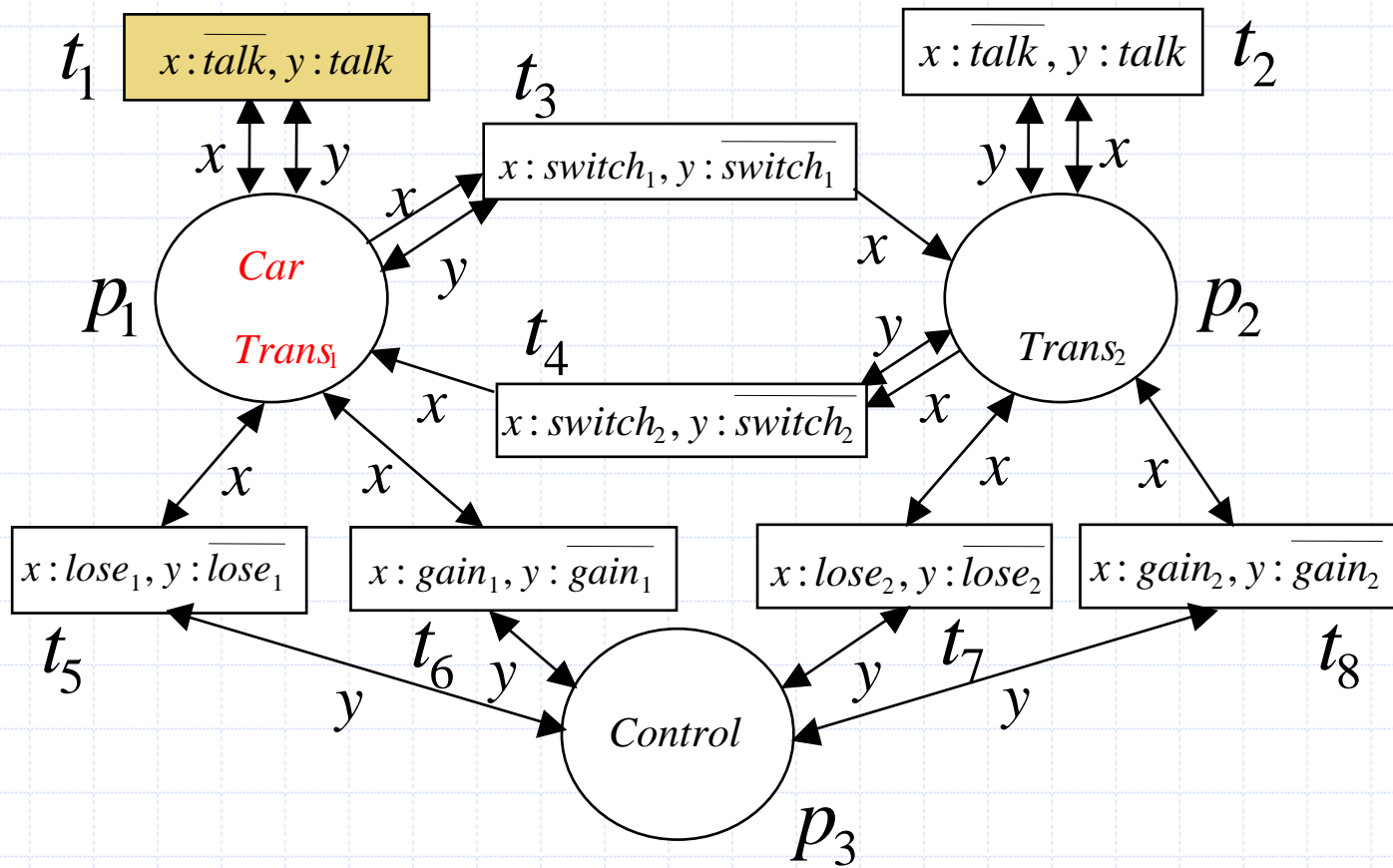
エージェントネット Car

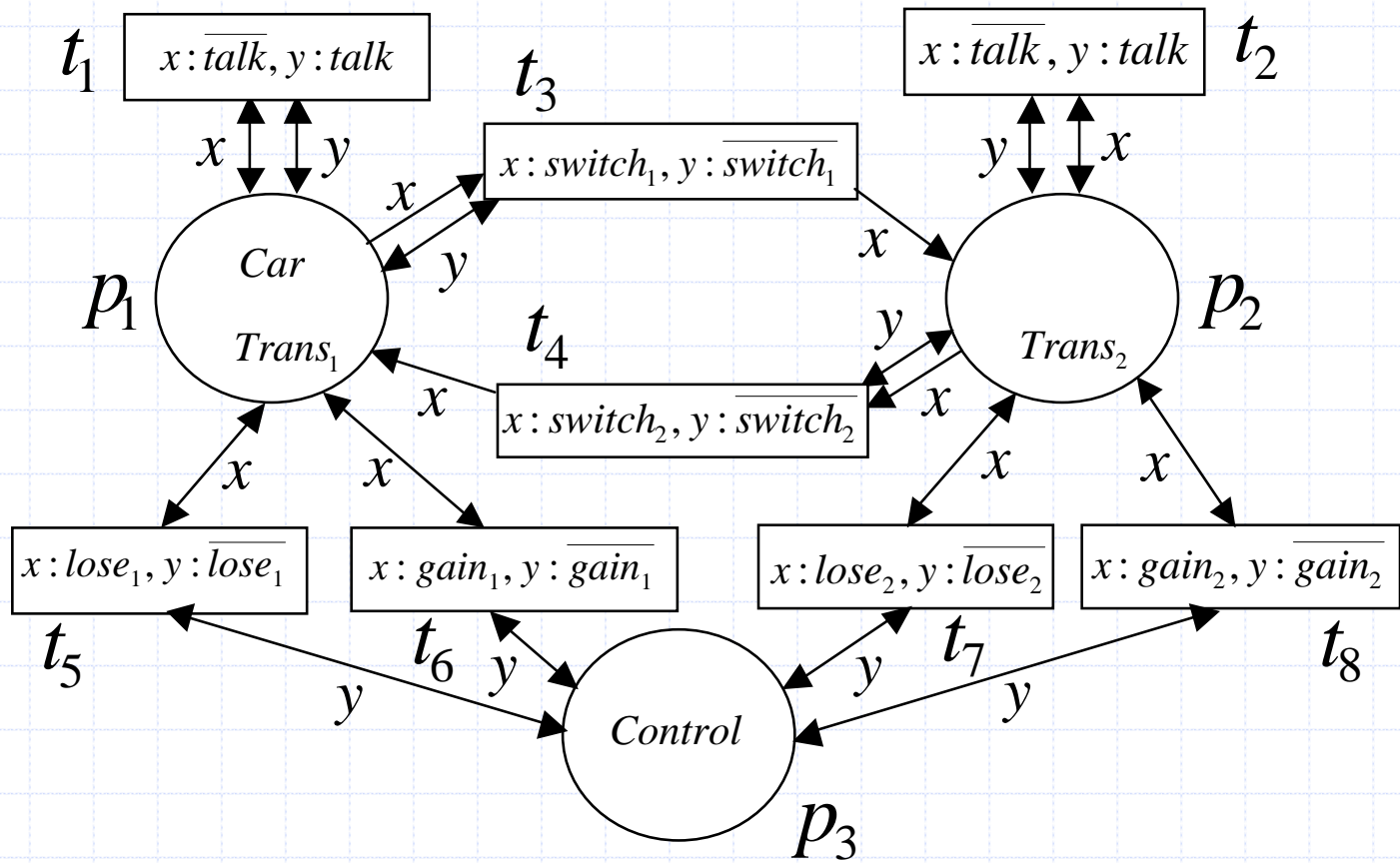
$$Car(talk, switch) \equiv \overline{talk}.Car\langle talk, switch \rangle + switch(t, s).Car\langle t, s \rangle.$$

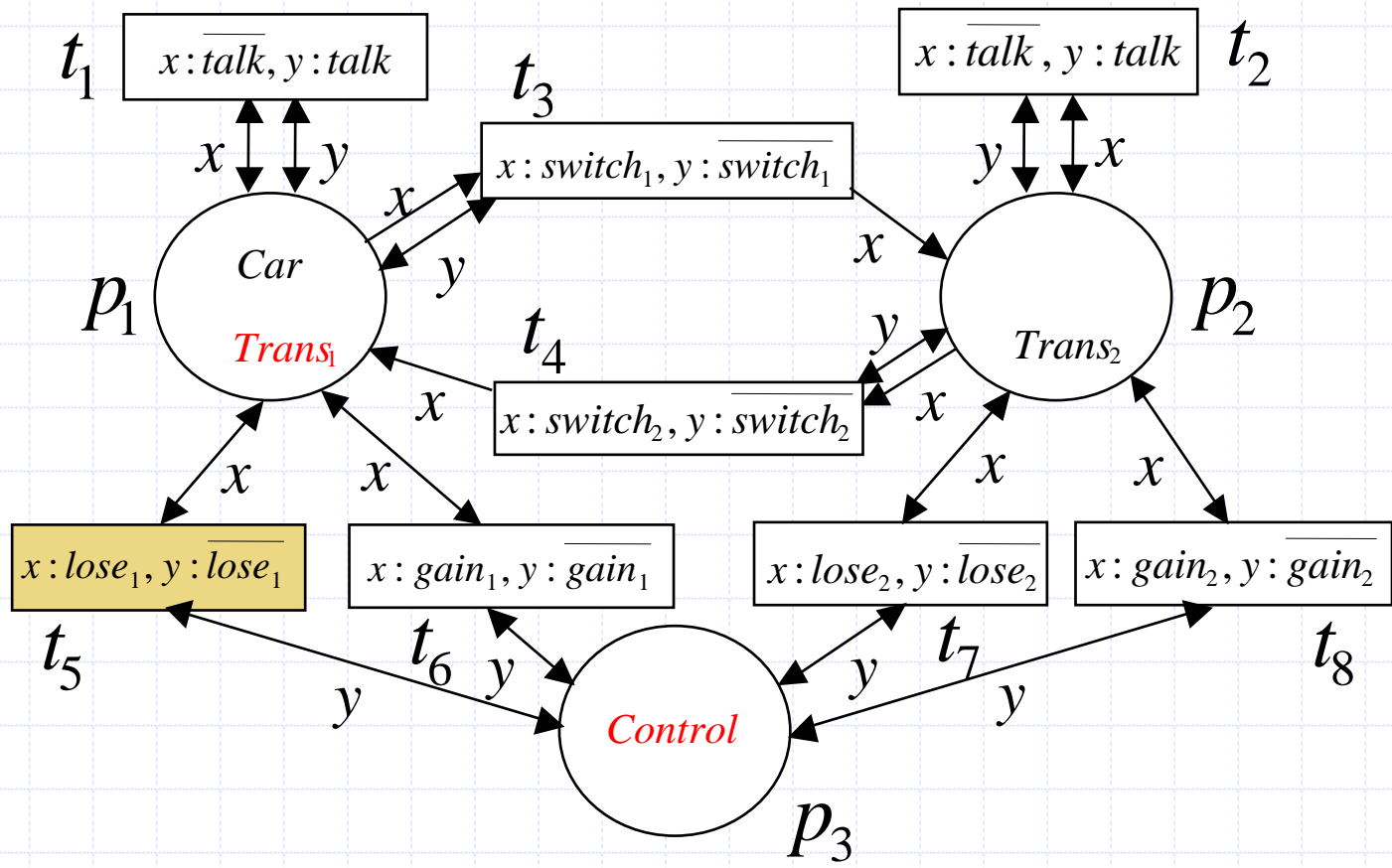
PN²による表現(4)

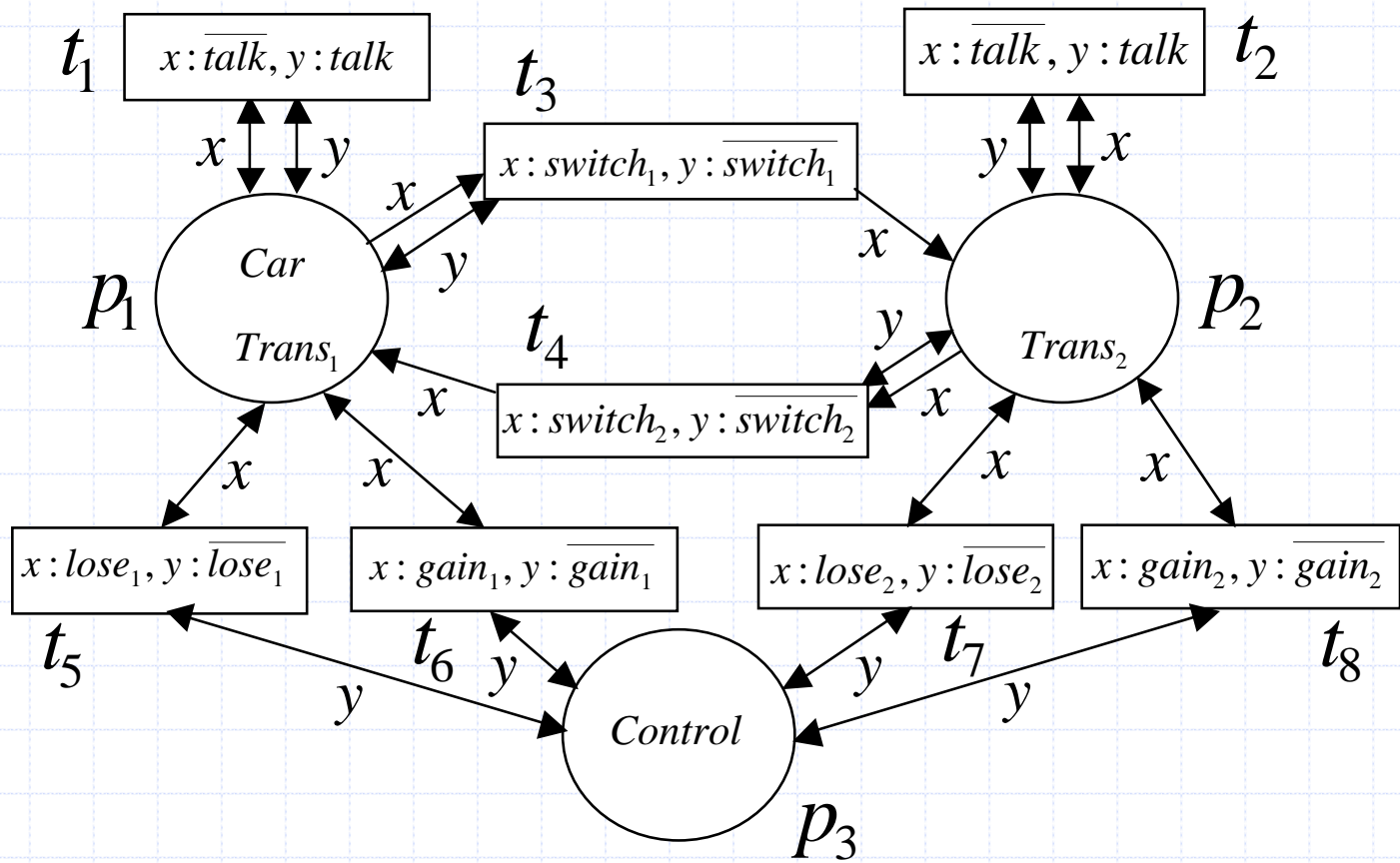


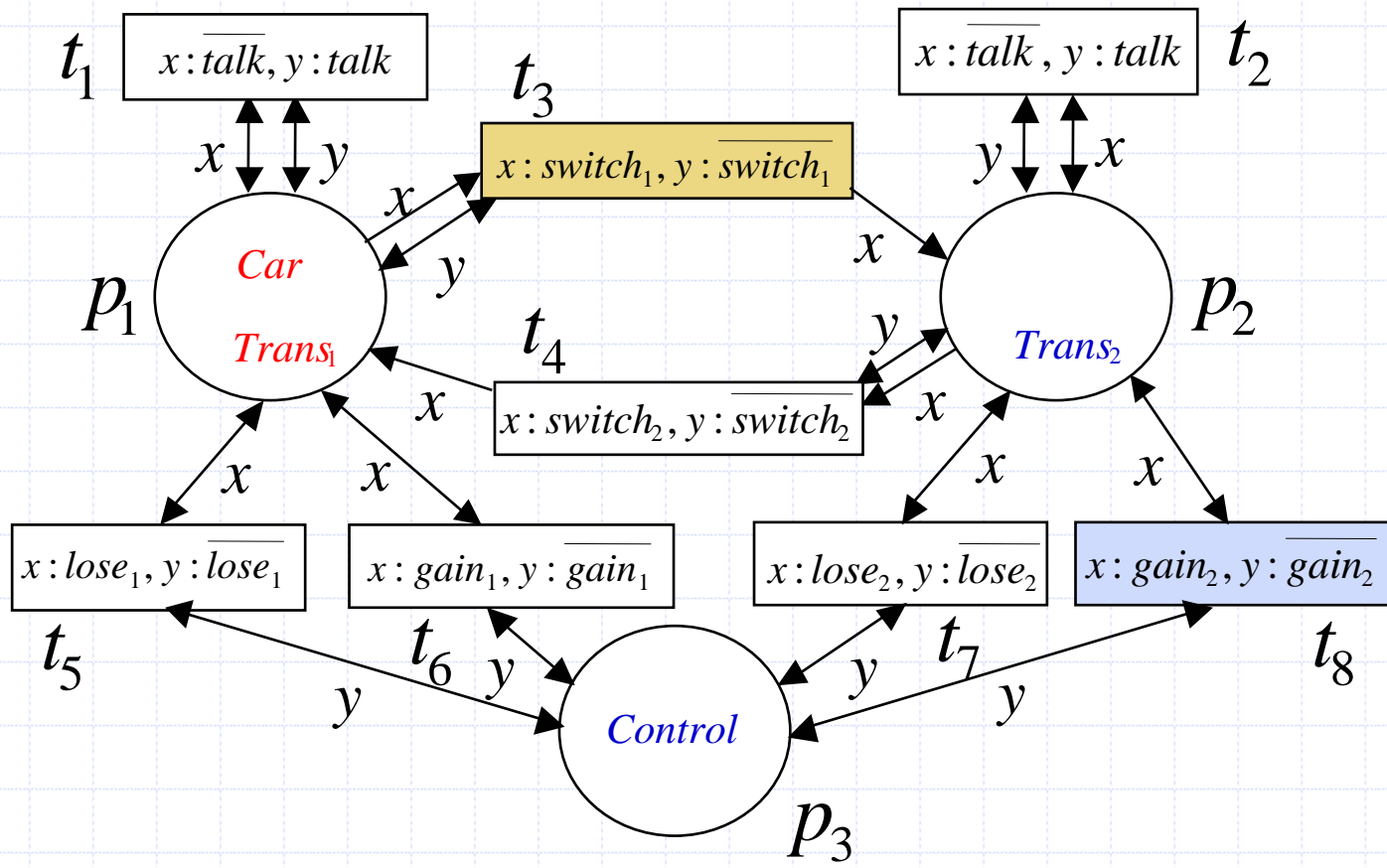
環境ネット

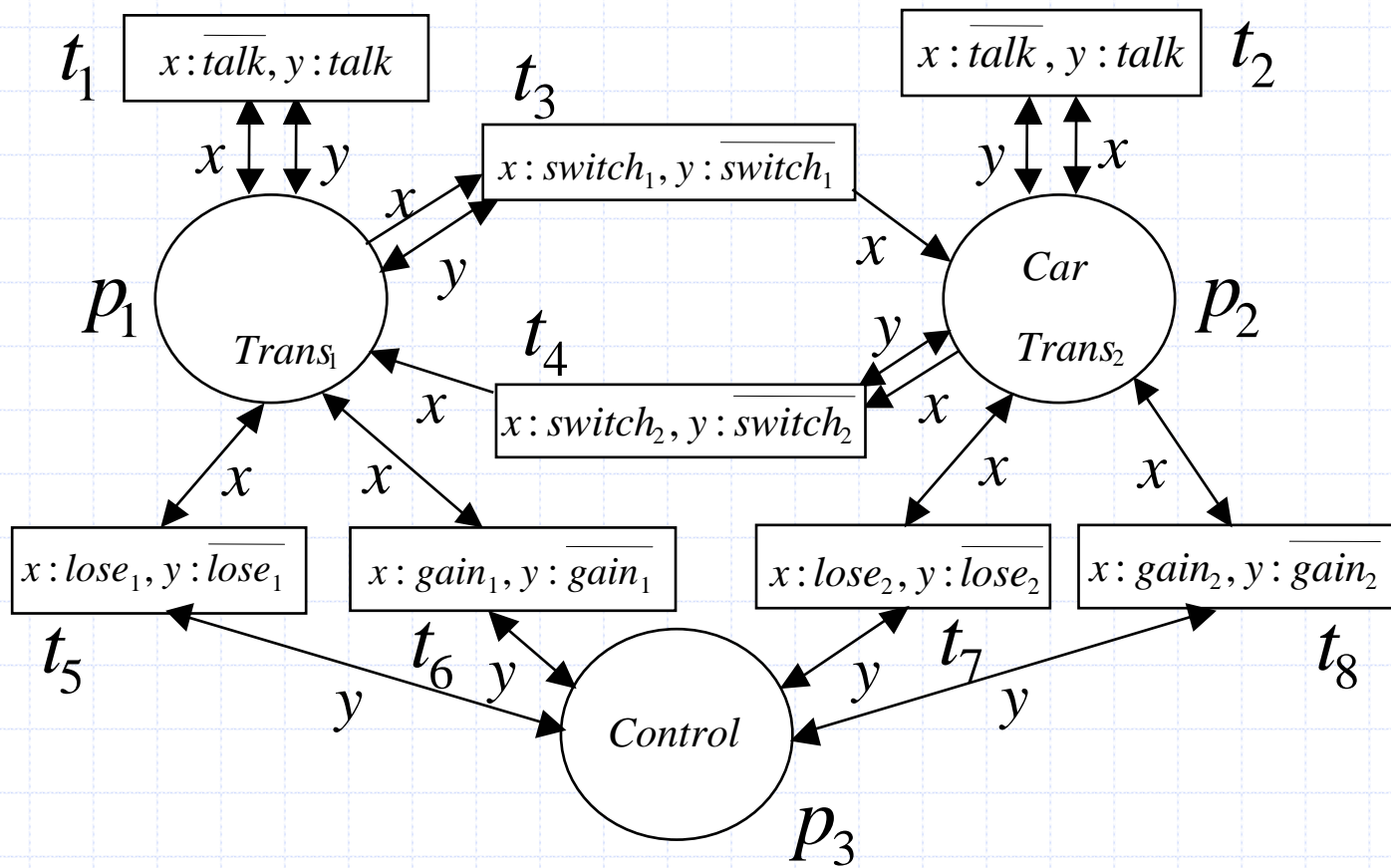


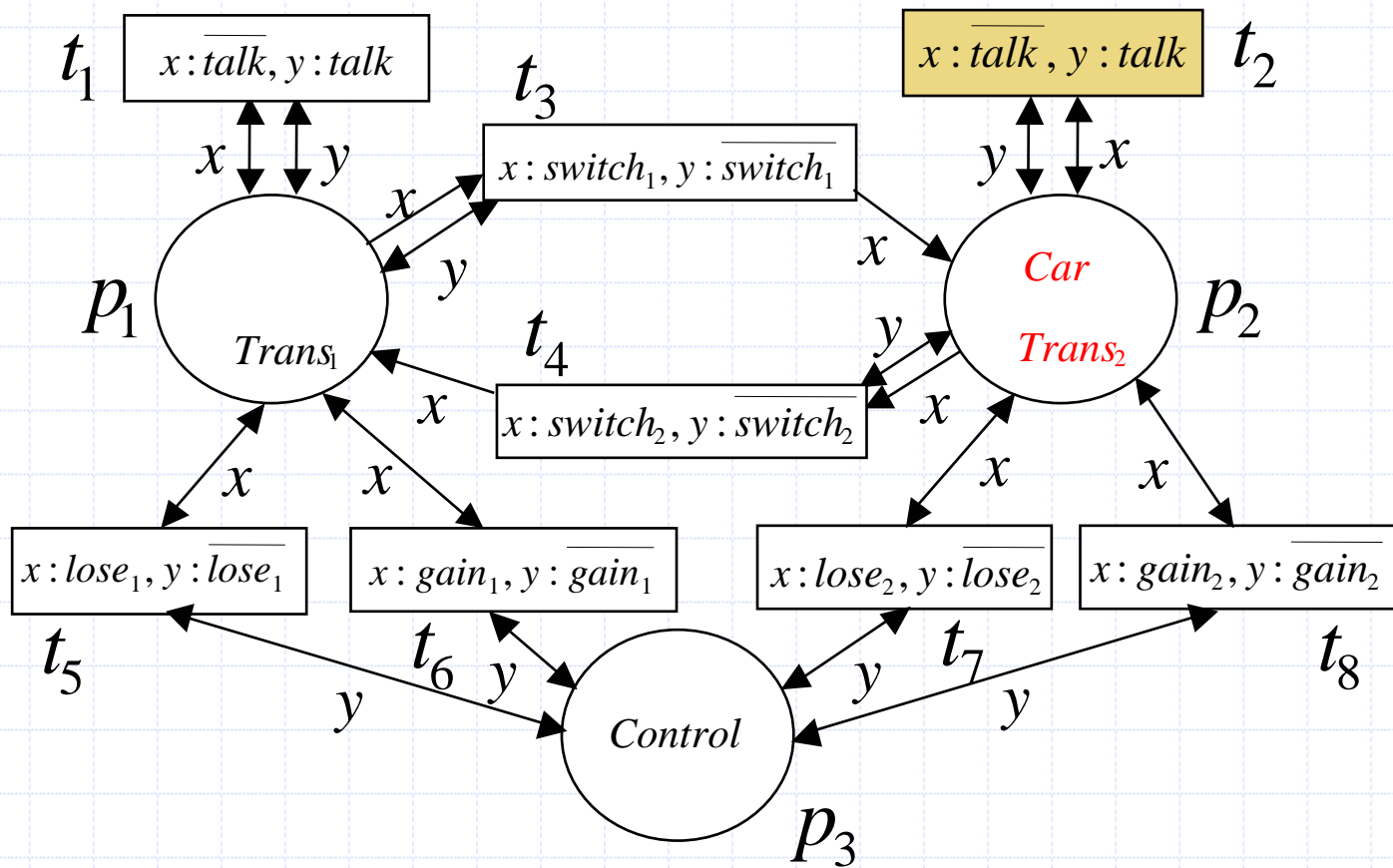


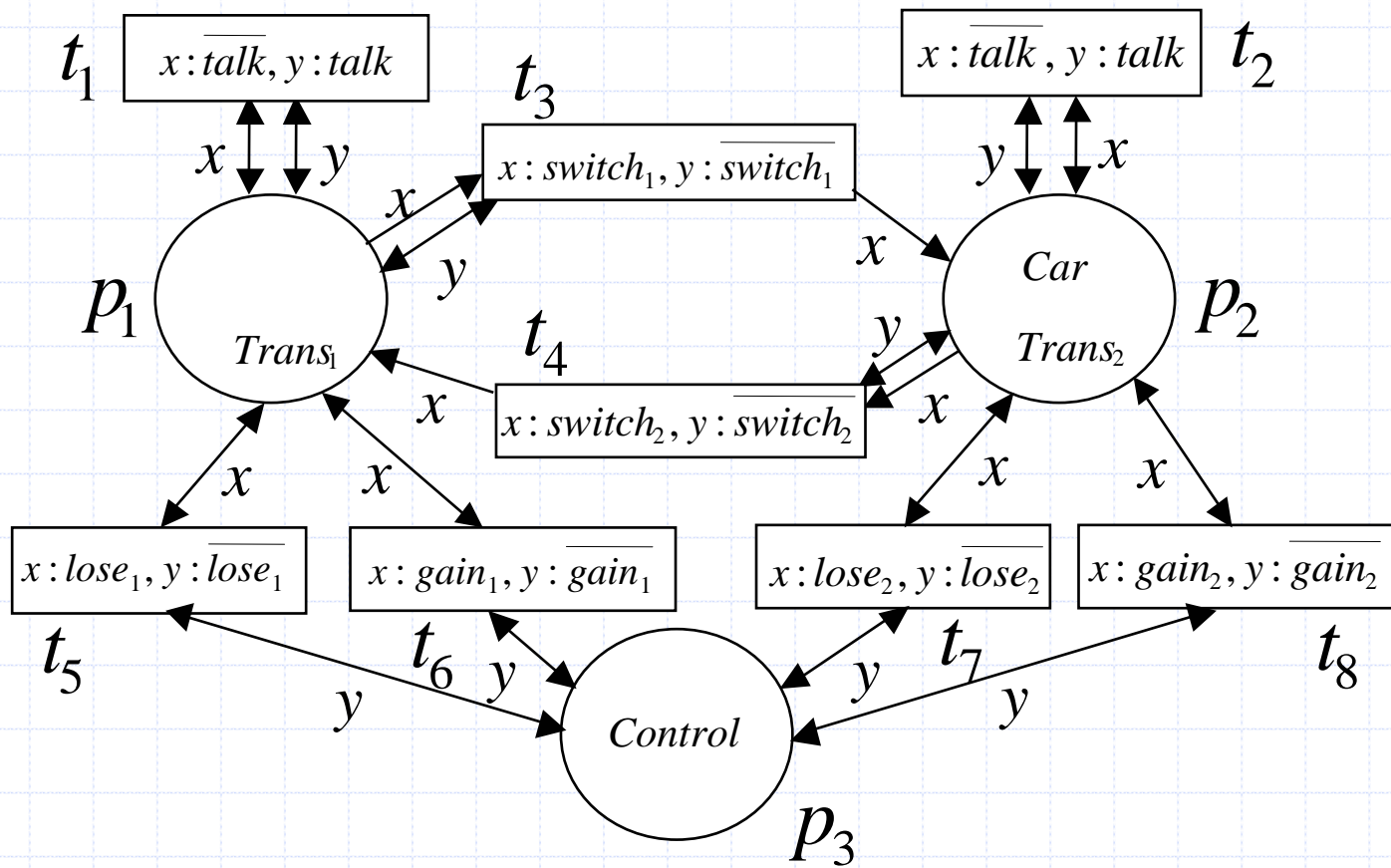












ペトリネットの発展

プレース/トランジションネット(P/Tネット)

資源の存在



高水準ペトリネット

データ構造をもつ資源



オブジェクト/エージェント・ペトリネット

オブジェクトの概念

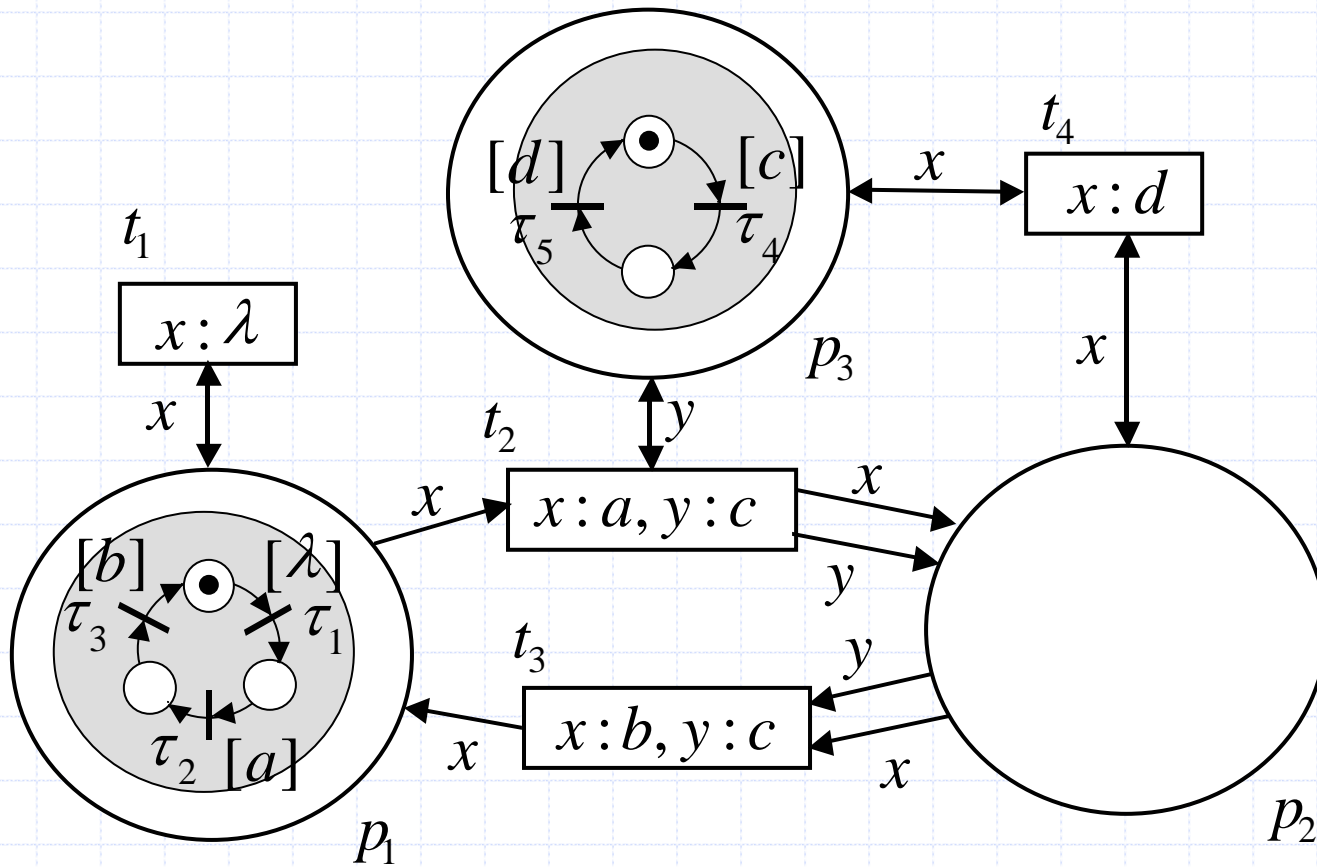
PN^2 の目的

- ◆ エージェントシステムに対するフォーマルモデル.
- ◆ 実システムの記述ではなく、数理的解析を行うことを目的としたモデル.
 - 位置付け: カラーペトリネットに対するプレース/トランジションネット.
 - 挙動解析のための、**必要最小限の記述のみ**を行う.

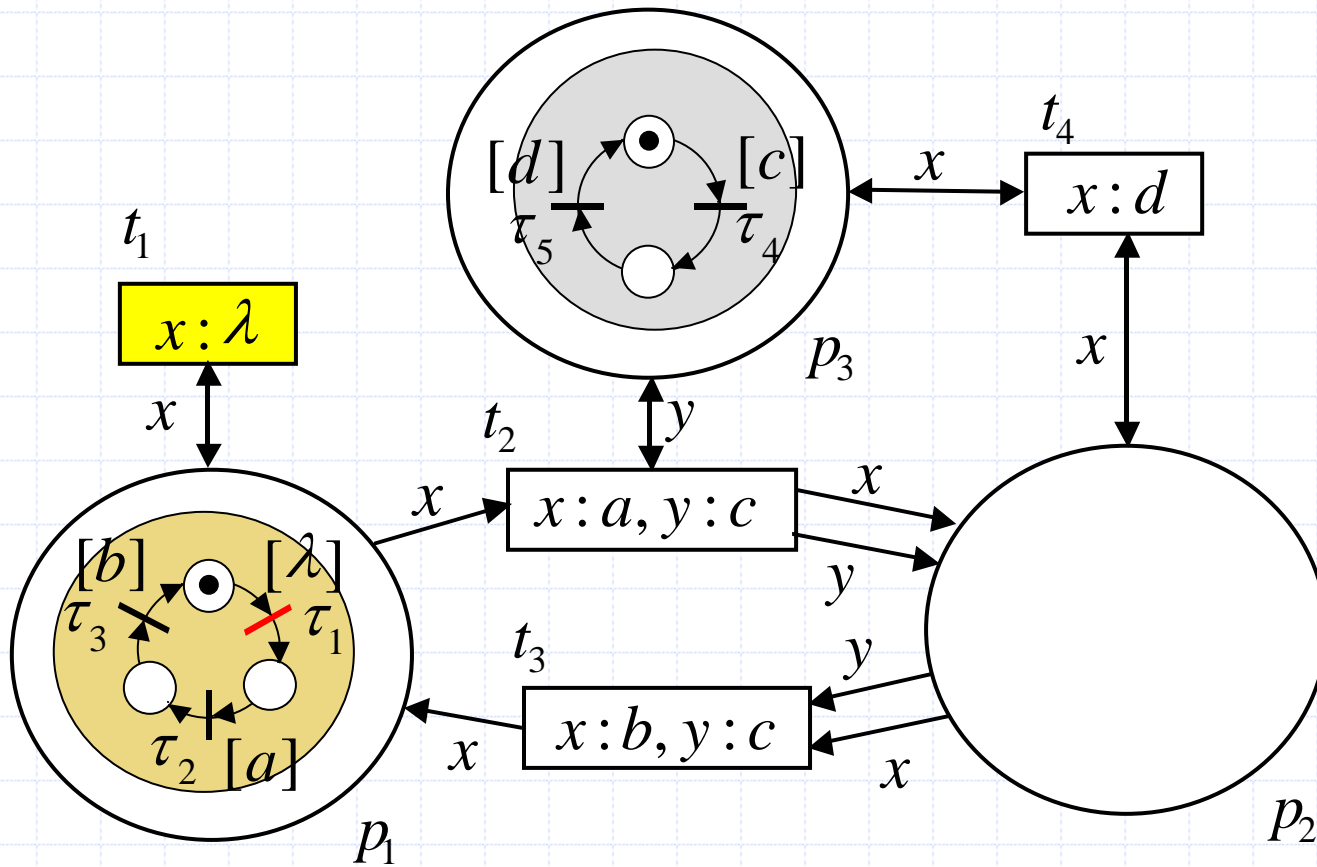
PN^2 の特徴

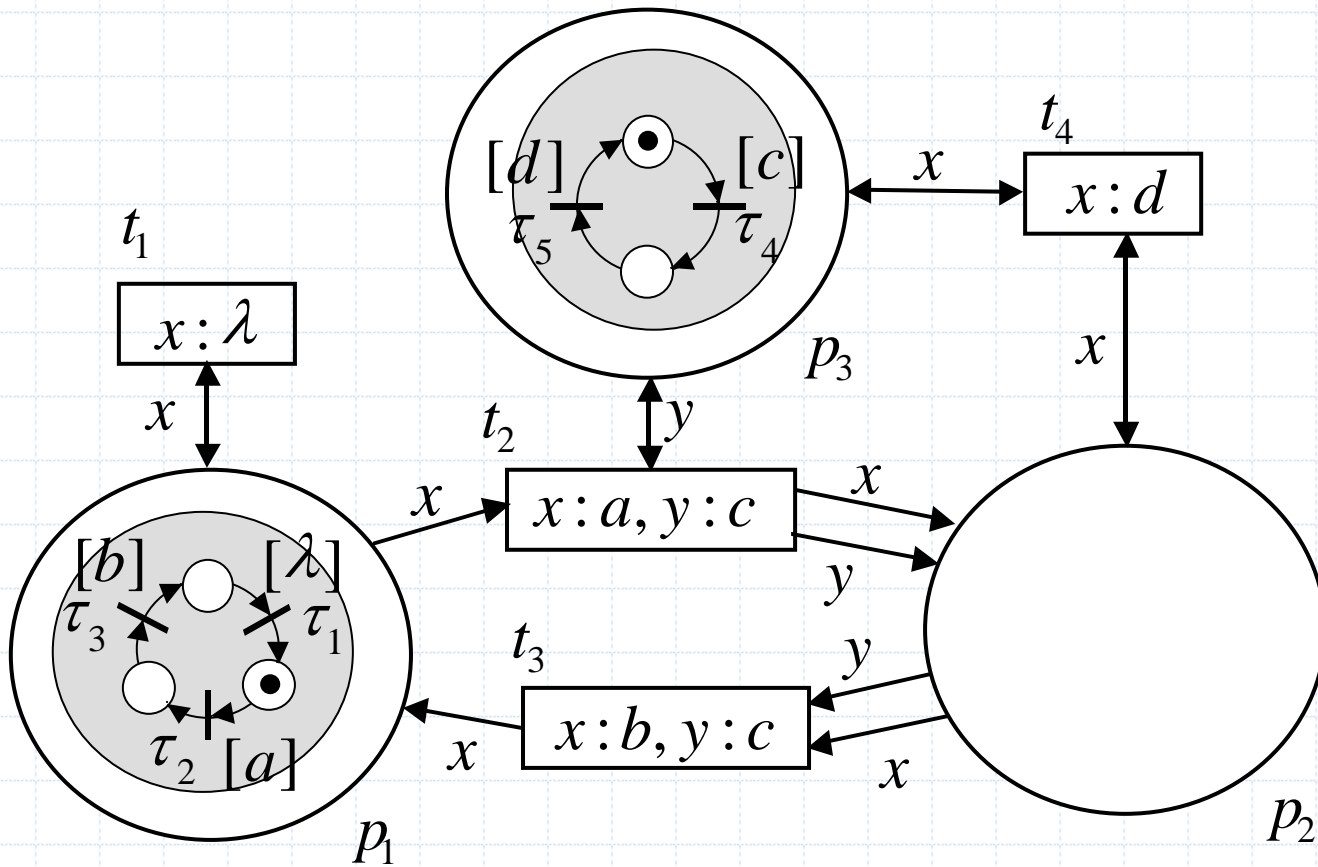
- ◆ 2階層のペトリネット: 上位階層を環境ネット, 下位階層をエージェントネットという. エージェントネットはラベル付きP/Tネットで表現される.
- ◆ 環境ネットのトランジションは, 複数のトランジション成分 (= アークの部分集合) からなる.
- ◆ トランジション成分はエージェントネットのトランジションに付けられたラベルを指定する.
- ◆ エージェントネットは指定されたラベルのトランジションが発火可能なときにのみ, 環境ネットのトランジションの発火に利用される.

PN^2 の動作

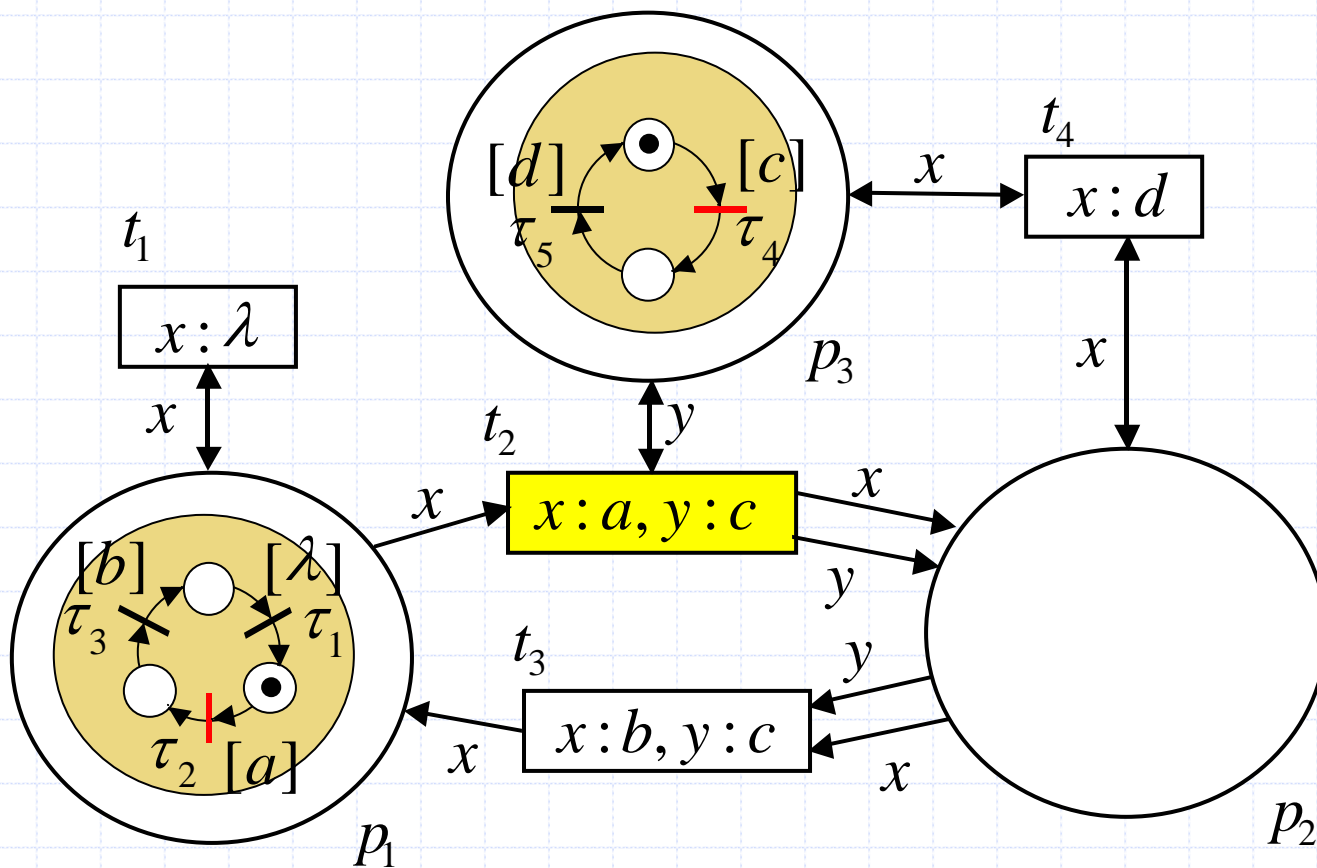


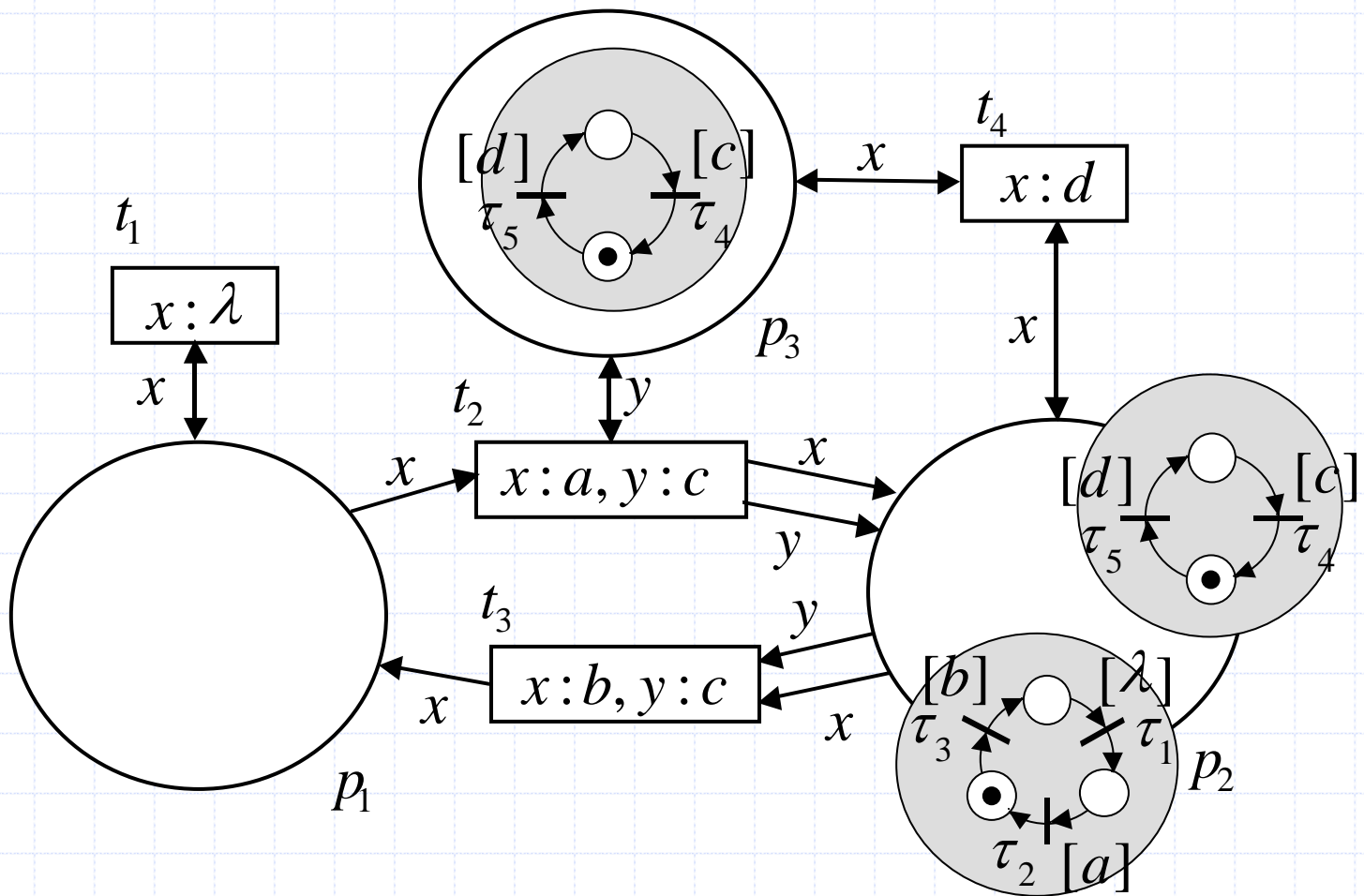
自律的動作

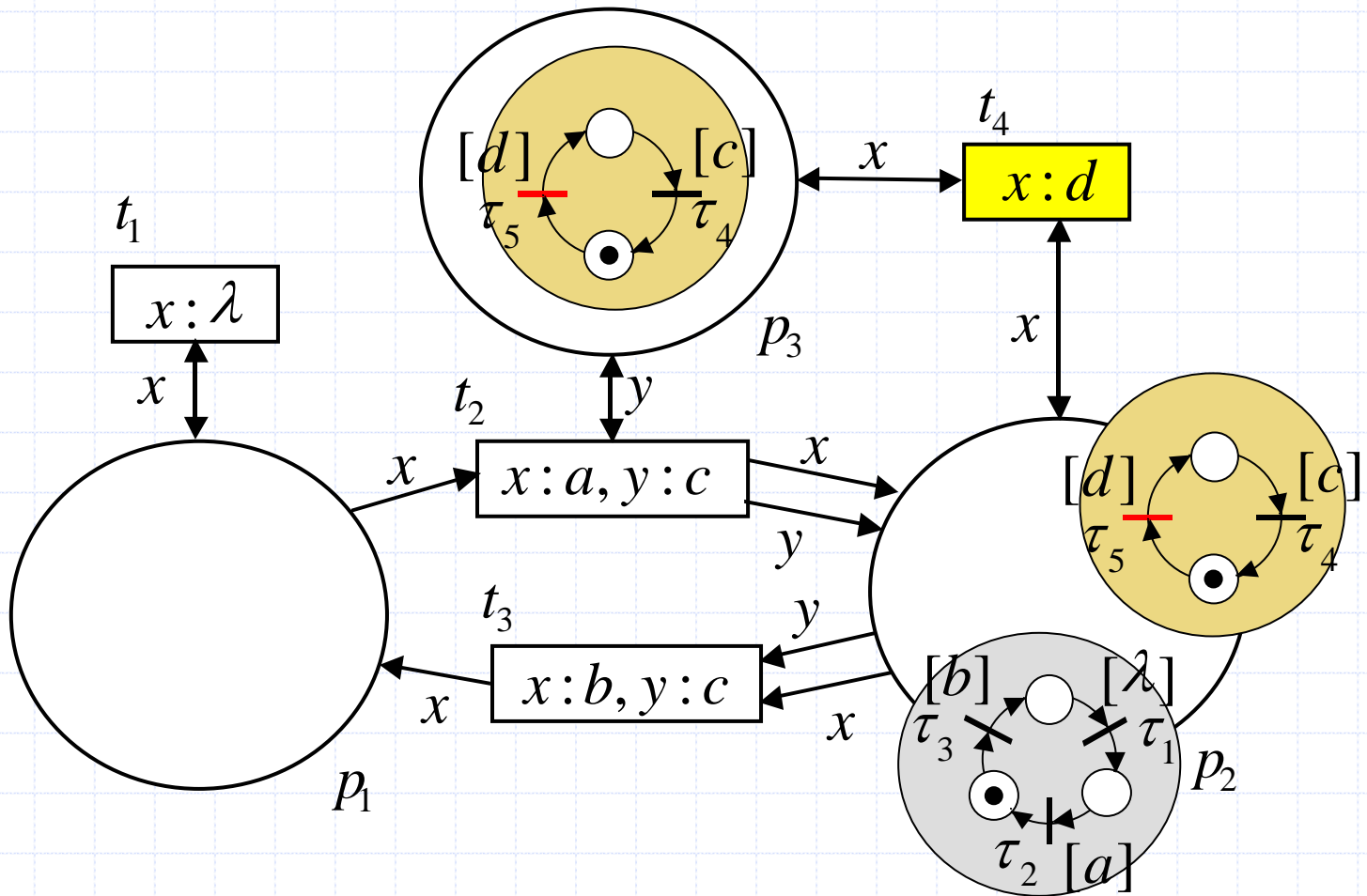


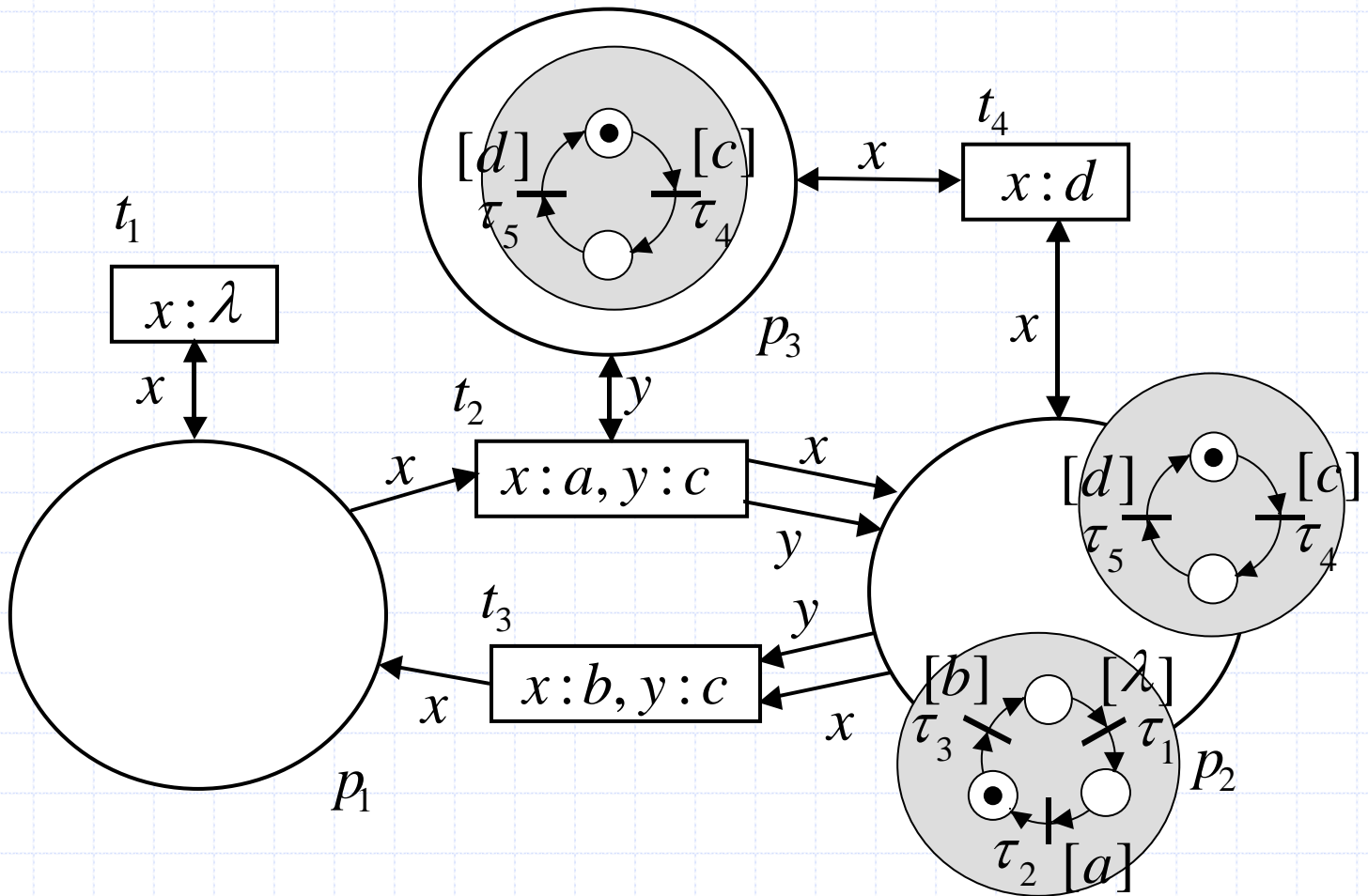


エージェント間通信(リモート),複製

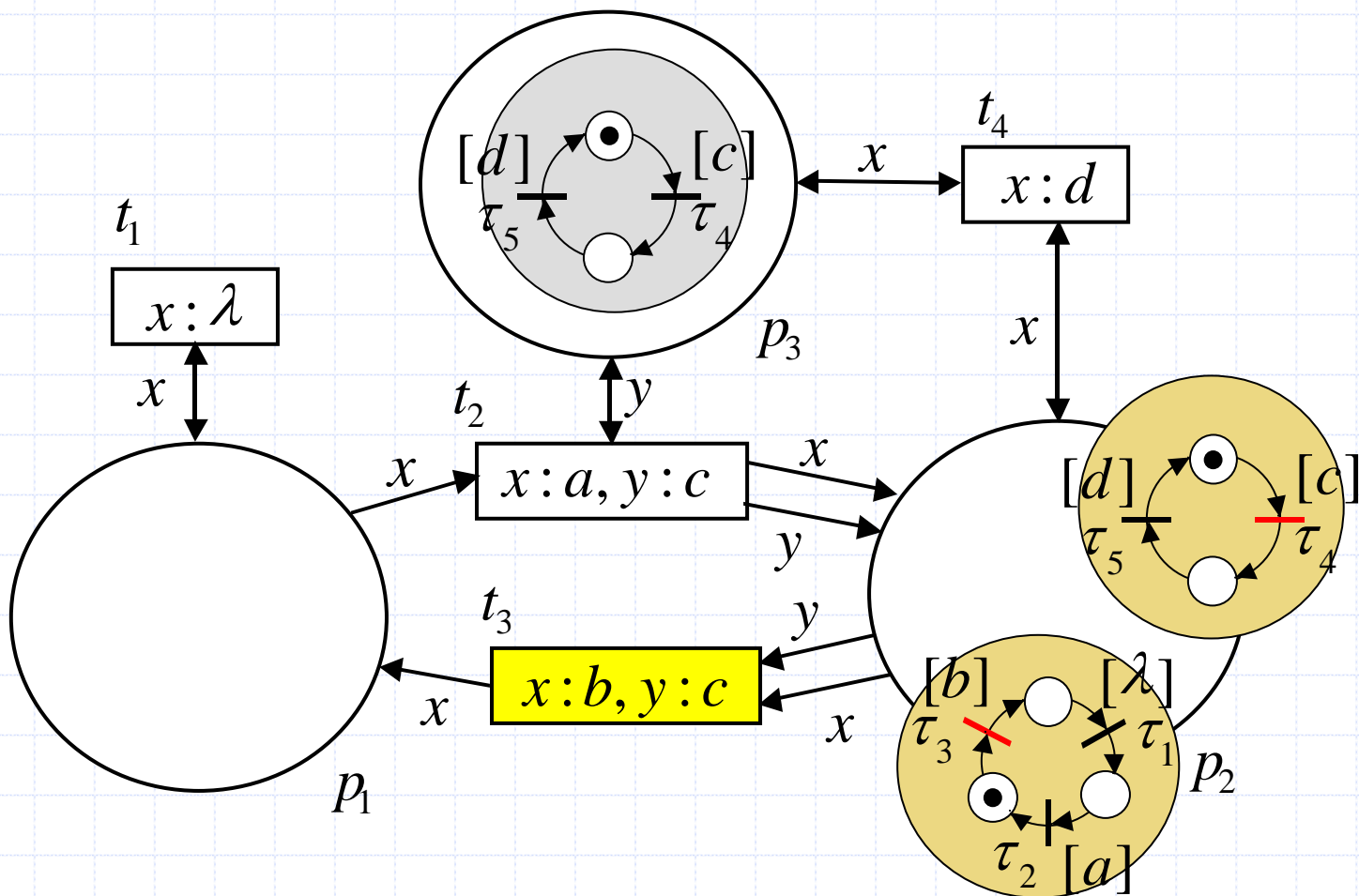


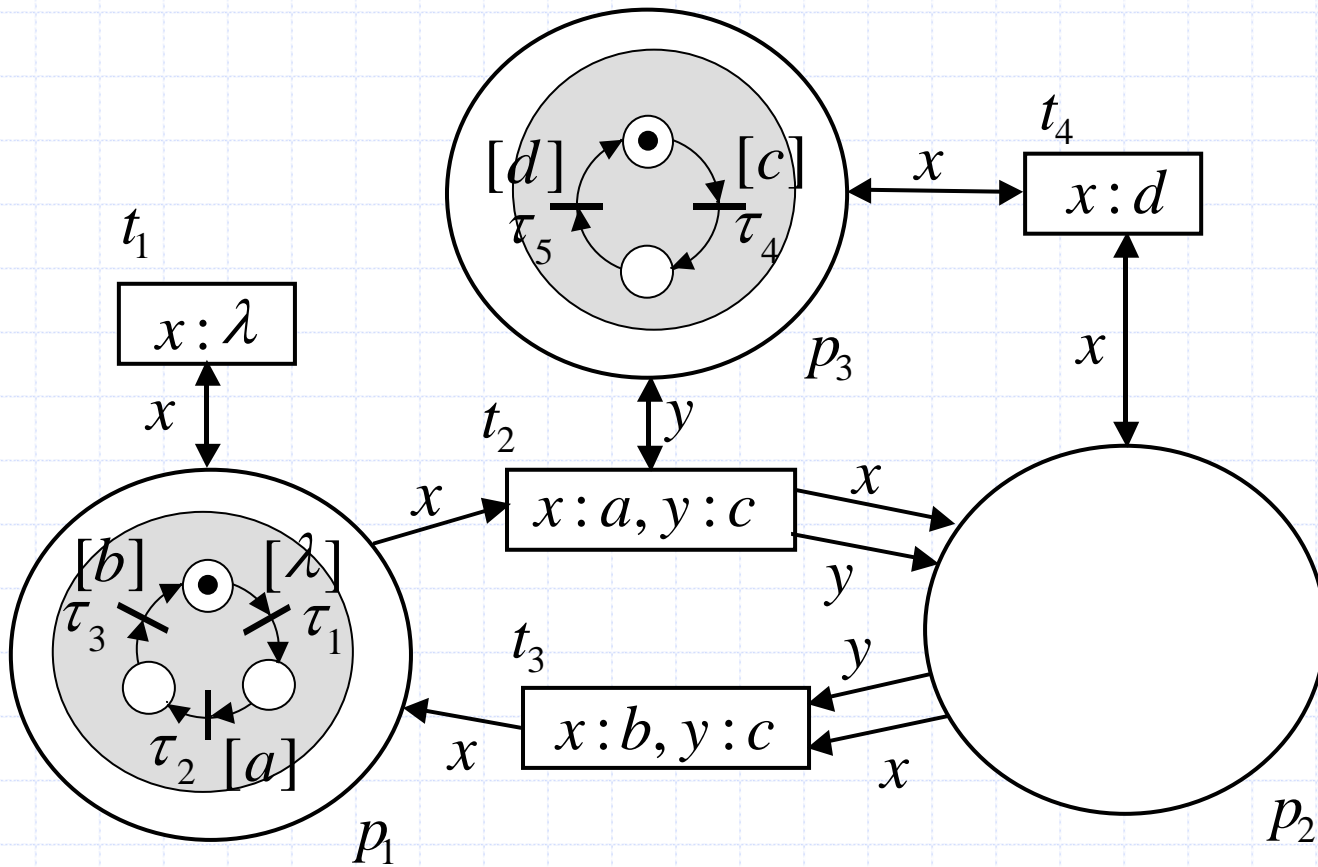






エージェント間通信(ローカル), 消滅





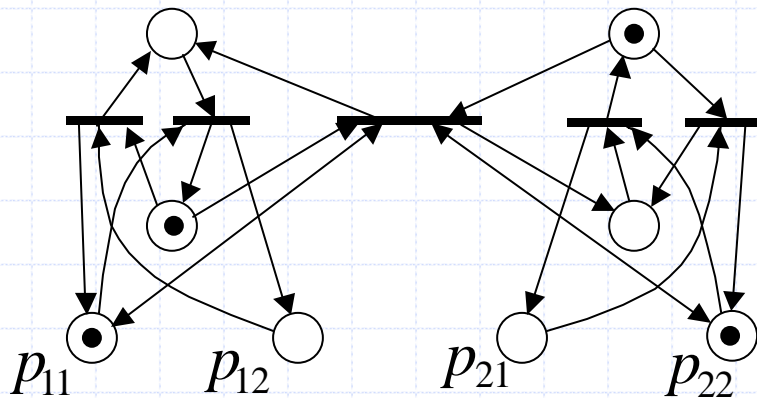
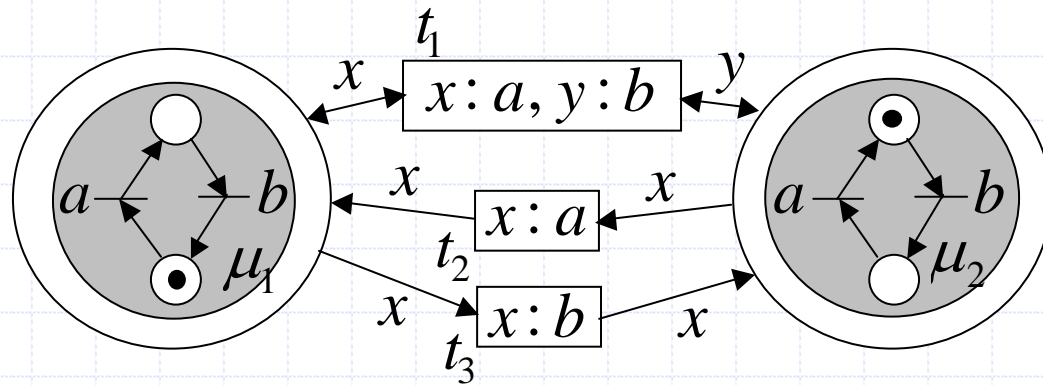
PN^2 が表現できるもの

- ◆ 静的 / 動的環境:
 - 静的環境 = 環境ネットの構造 + ローカルデータ,
 - 動的環境 = 他のエージェントネットの存在.
- ◆ 環境により制約されたエージェントの動作.
- ◆ エージェントの移動: 環境ネットのプレース間の移動.
- ◆ エージェント間通信: 複数のエージェントネットのトランジションが同期して発火.
- ◆ 自律的動作: 単一のエージェントネットのトランジションが発火.

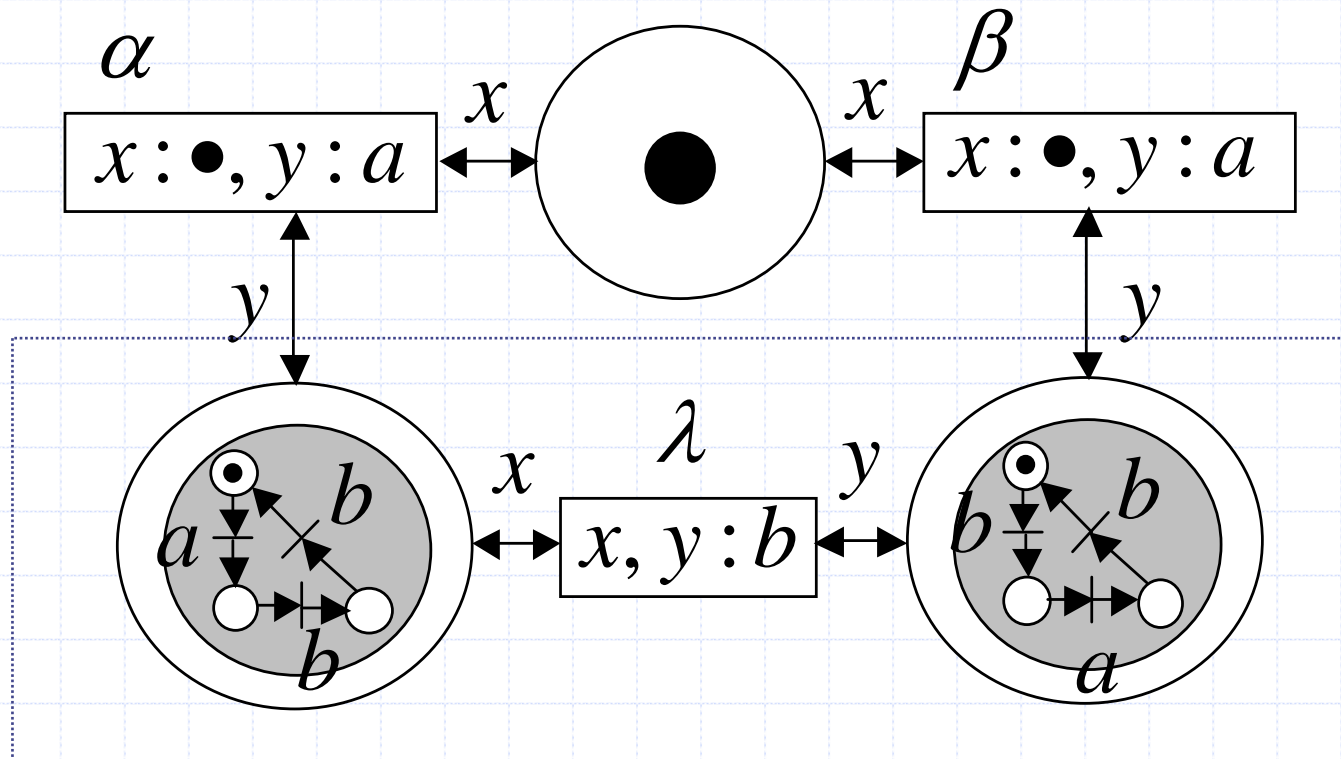
P/Tネットによるシミュレート

- ◆ 有限ソート PN^2 :すべてのエージェントネットが有界(=到達可能性集合が有限)。
- ◆ 有界 PN^2 :エージェントネットの個数が有界。
- ◆ PN^2 が有限ソートならば,そのふるまいをシミュレートする(=状態遷移グラフが同型な)P/Tネットが存在する。
- ◆ 無限ソート PN^2 のクラスはチューリング機械と等価な計算能力をもつ。
- ◆ もし,すべてのトランジション成分の入出力が1ならば,たとえ PN^2 が無限ソートであっても,そのふるまいをシミュレートするP/Tネットが存在する。

P/T ネットによるシミュレート



PN^2 による分散制御の形式化



エージェントの協調により $(\alpha + \beta)^*$ を $(\alpha\beta)^*$ に制御.

接続行列

$$I = \begin{array}{c} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{array} \begin{array}{c} \mu_1 \\ \mu_1' \\ \mu_1'' \\ \mu_2 \\ \mu_2' \\ \mu_2 \\ \mu_2' \end{array} \begin{array}{c} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \\ t_4 \end{array} \left[\begin{array}{c|c|c|c|c|c} \mu_1 & \mu_1' & \mu_2 & \mu_1'' & \mu_2 & \mu_2' \\ \hline -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ \hline 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{array} \right]$$

状態方程式

$$\begin{array}{l} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{array} \begin{array}{l} \mu_1 \\ \mu_1' \\ \mu_1'' \\ \mu_2 \\ \mu_1' \\ \mu_2 \\ \mu_2' \end{array} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} + I \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

最終状態 初期配置 発火回数ベクトル

インバリアント

$$\begin{array}{l} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{array} \begin{array}{l} \mu_1 \\ \mu_1' \\ \mu_1'' \\ \mu_2 \\ \mu_1' \\ \mu_2 \\ \mu_2' \end{array} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} + I \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

↑
T-インバリアント

おわりに

- ◆ 今後の課題：
 - 効率的な解析方法 .
 - 意味論 .
 - ツール化 .
 - 高水準化 .