

組織パターンと形式手法 (研究タスク成果報告)

服部 哲

北陸先端科学技術大学院大学

情報科学研究科

(同研究科 落水 浩一郎との共同研究)

関連発表論文

- “プロセスパターンに対する理論的考察”, 第10回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ (FOSE'03) 論文集, 近代科学社, pp.205-214, 2003-11.
- “A Mathematical Foundation to Validate Some Empirical Organizational Patterns”, International Conference on Cybernetics and Information Technologies, Systems and Applications (CITSA'04), 2004-07, to appear.

発表内容

- 背景と目的
 - 組織パターンに理論的裏付けを与えよう.
- 確率ペトリネット(Stochastic Petri-Net, SPN)
- 組織における仕事の流れのSPNによる形式化
- 組織パターンの有効性の検証
- 現実のソフトウェア開発プロセスの改善支援に向けての課題

組織パターン(Organizational Pattern)

- 良いソフトウェア開発組織に共通に見られるパターン
- Coplien によって提唱される。
<http://www.bellabs.com/user/cope/Patterns/Process/>
- 経験に基づくもの

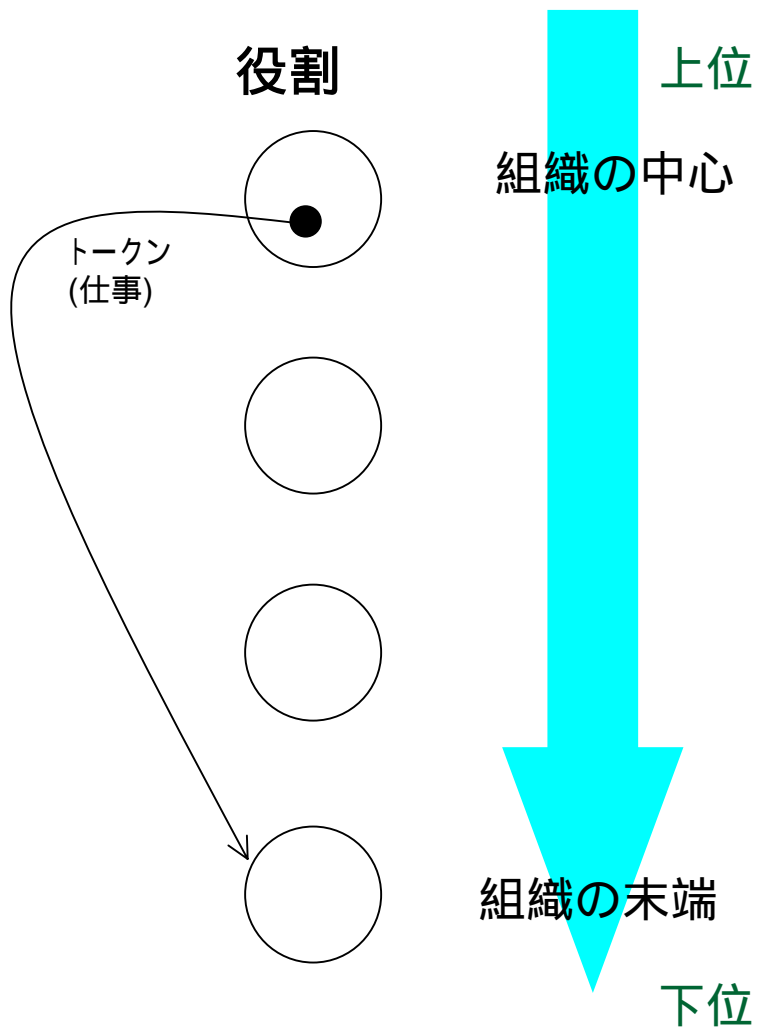
本研究の目的

- ソフトウェア開発組織における仕事の流れを確率ペトリネットにより形式化する。
- 仕事の流れを扱う組織パターンの有効性を検証する。
- 現実のソフトウェア開発プロセスの改善支援方法について考える。

対象とするパターン

- Buffalo Mountain パターンと Work Flows Inward パターン
 - 仕事の流れ(情報交換)が効率的な開発組織で見られるパターン
- パターンの対象とする組織の形態
 - いくつかの役割から成る.
 - 役割は階層を成す.

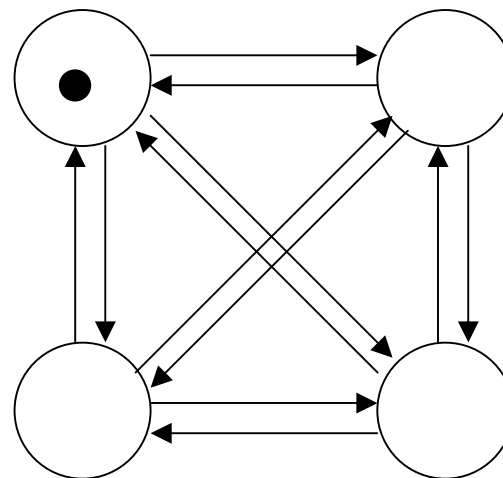
組織/仕事の流れのモデル



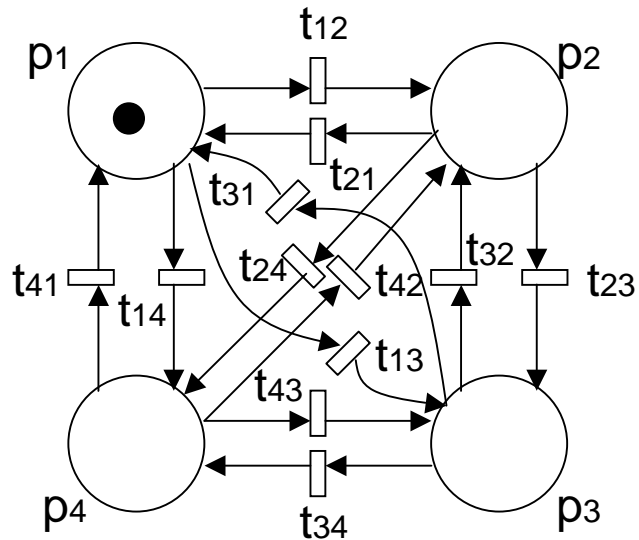
組織における仕事の流れ

トークンの送受信

どの役割も任意の他の役割へトークンを送信できる。



ペトリネットによる組織のモデル



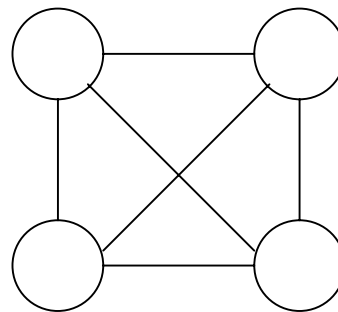
ペトリネット $N(4)$

役割の数が n の組織を左図のようなペトリネット $N(n)$ でモデル化する.

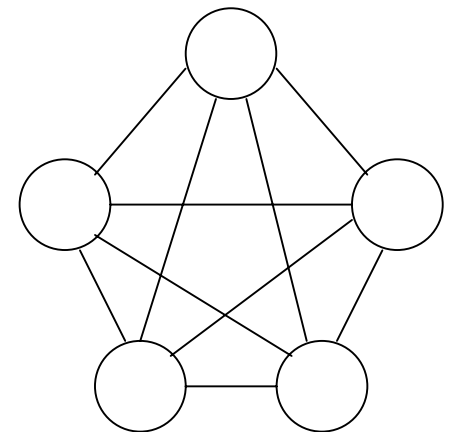
プレース: 役割

トランジション: トークンの送信(受信)

$N(n)$ は完全グラフ K_n と似た構造

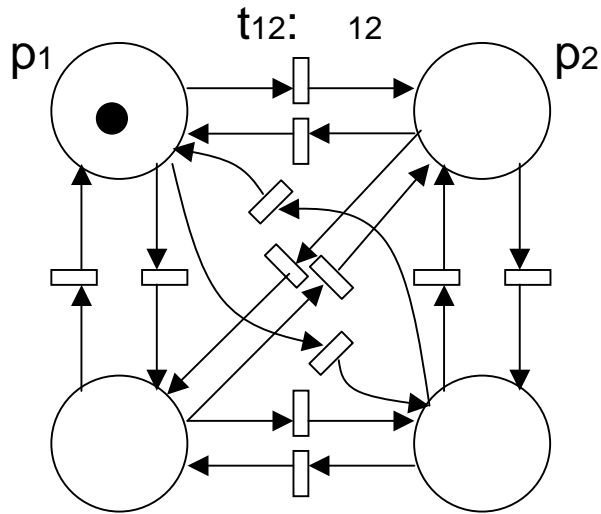


完全グラフ K_4



K_5

確率ペトリネット(Stochastic petri-net, SPN)



ペトリネット $N(4)$

ペトリネット $N(n)$ の各トランジション t に発火率 を付随させる.

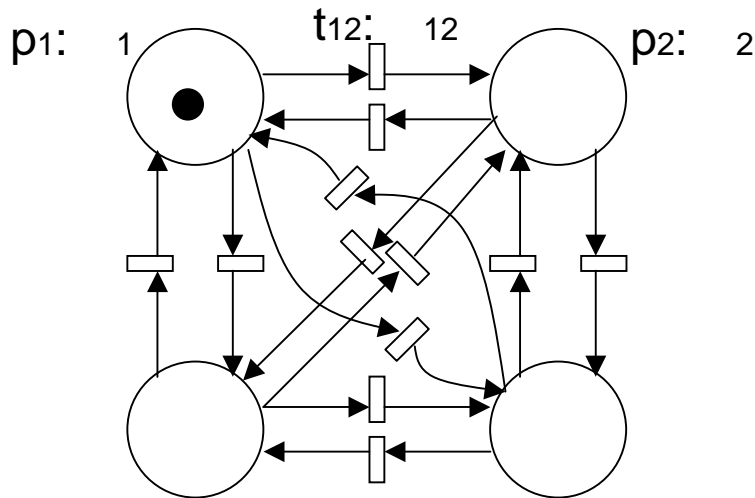
$N(n)$ は確率ペトリネット(SPN)と呼ばれる.

発火率: 単位時間当たりのトランジションの発火の数

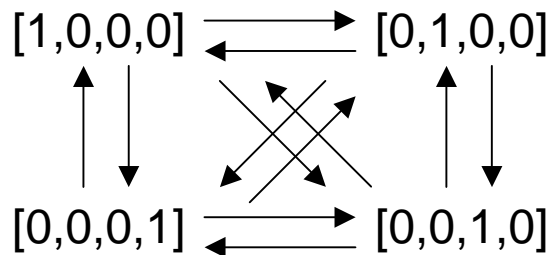
$N(n)$ の場合, ある役割から別の役割への単位時間当たりのトークンの発信数を表す.

例 $t_{12} = 4$ は役割 p_1 から役割 p_2 へのトークンの発信数が4であることを表す.

各プレースにトークンが滞在する確率: プレース(役割)が仕事を担う率



SPN N(4)



N(4)の可達グラフ

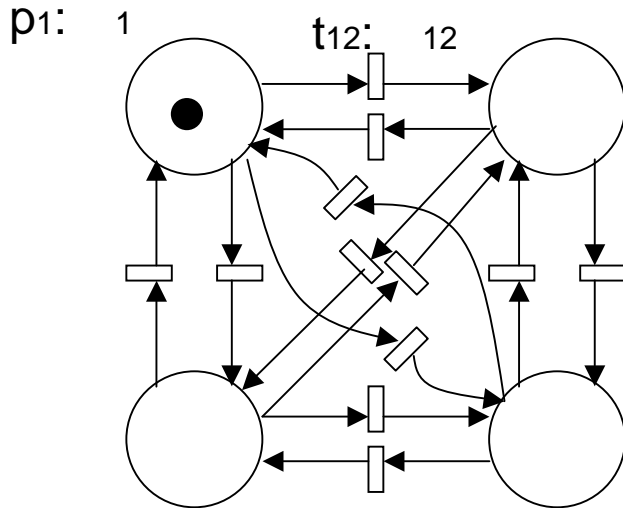
仮定:

SPN $N(n)$ におけるトークンはただ一つである。
このとき, $N(n)$ とその可達グラフは同じ構造になる。

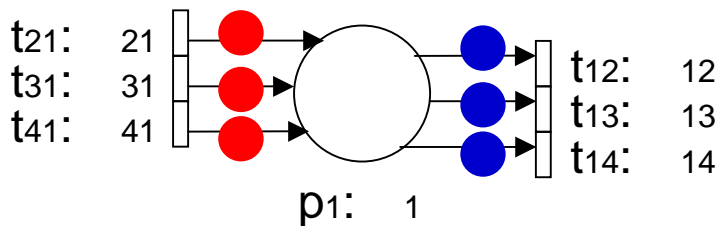
可達グラフにおける各マーキングでの滞在確率
対応するプレースでのトークンの滞在確率

プレースでのトークンの滞在確率は, 対応する役割が組織において仕事を担う率を表す。

SPN における発火率と滞在確率に関する連立方程式



SPN N(4)



SPN N(4) における連立方程式

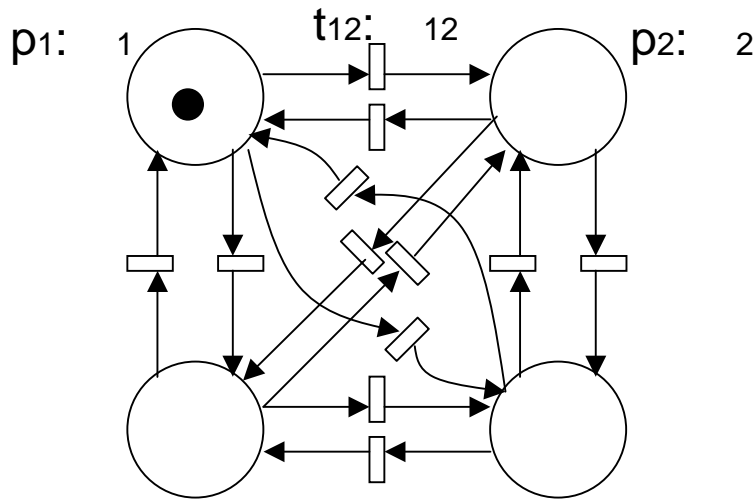
p1への入力発火数

p1からの出力発火数

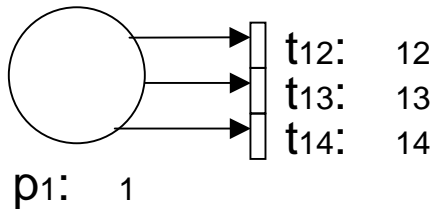
$$\begin{aligned}
 \underline{21} \quad \underline{2} + \underline{31} \quad \underline{3} + \underline{41} \quad \underline{4} &= (\underline{12} + \underline{13} + \underline{14}) \quad \underline{1} \\
 12 \quad 1 + 32 \quad 3 + 42 \quad 4 &= (21 + 23 + 24) \quad 2 \\
 13 \quad 1 + 23 \quad 2 + 43 \quad 4 &= (31 + 32 + 34) \quad 3 \\
 14 \quad 1 + 24 \quad 2 + 34 \quad 3 &= (41 + 42 + 43) \quad 4 \\
 1 + 2 + 3 + 4 &= 1
 \end{aligned}$$

各発火率が与えられたとき、連立方程式を解いて各滞在確率を求めることができる。

仕事の流れの効率



SPN $N(4)$



$F(n)$: $N(n)$ における総発火数

$$\begin{aligned}
 F(4) = & (t_{12} + t_{13} + t_{14}) \cdot 1 \\
 & + (t_{21} + t_{23} + t_{24}) \cdot 2 \\
 & + (t_{31} + t_{32} + t_{34}) \cdot 3 \\
 & + (t_{41} + t_{42} + t_{43}) \cdot 4
 \end{aligned}$$

$A(n)$: プレースごとの発火率の和の平均

$$\begin{aligned}
 A(4) = & (t_{12} + t_{13} + t_{14}) \cdot \frac{1}{4} \\
 & + (t_{21} + t_{23} + t_{24}) \cdot \frac{1}{4} \\
 & + (t_{31} + t_{32} + t_{34}) \cdot \frac{1}{4} \\
 & + (t_{41} + t_{42} + t_{43}) \cdot \frac{1}{4}
 \end{aligned}$$

各発火率を大きくすれば $F(n)$ はいくらでも大きくなるので, $A(n)$ によって正規化する.

$E(n)$: 発火効率

$$E(n) = \frac{F(n)}{A(n)}$$

発火率の行列

to p₄(末端)

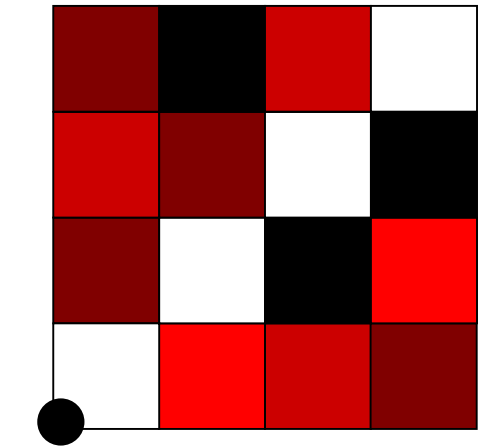
| | | | |
|----|----|----|----|
| 14 | 24 | 34 | |
| 13 | 23 | | 43 |
| 12 | | 32 | 42 |
| | 21 | 31 | 41 |

to p₃

to p₂

to p₁(中心)

from p₁(中心) from p₂ from p₃ from p₄(末端)



中心 内 外

発火率

高

低



仮定：階層と役割は一對一に対応する。

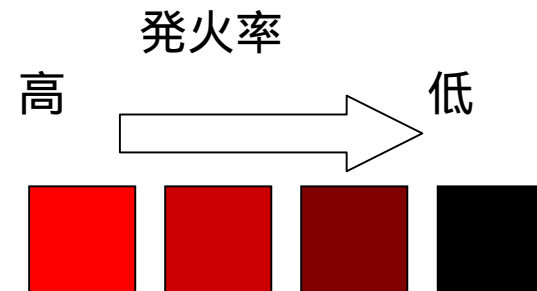
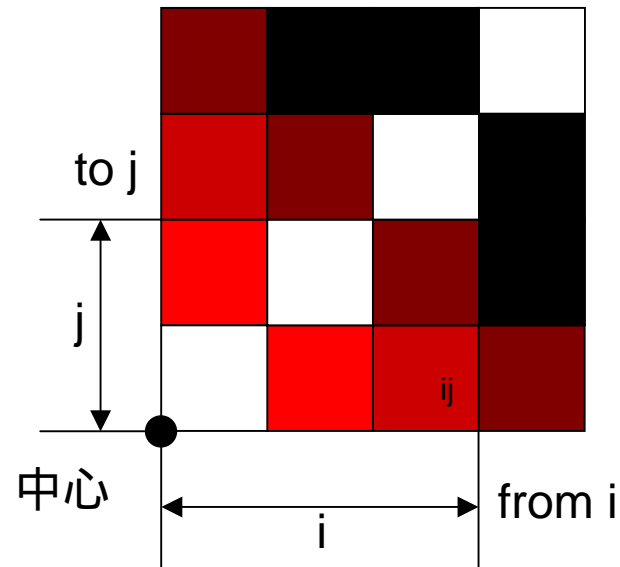
仕事の流れが効率的なパターン(1)

(1) Buffalo Mountain パターン

“The intensity of any interaction should be inversely proportional to the sum of the roles’ distance to the center of the process.”

“2つの役割間の協力の緊密度は、それぞれの役割と中心(最上位の)役割間の距離の和に反比例すべきである。”

発火率 i_j (と j_i) は $i+j$ の値に反比例すべきである。

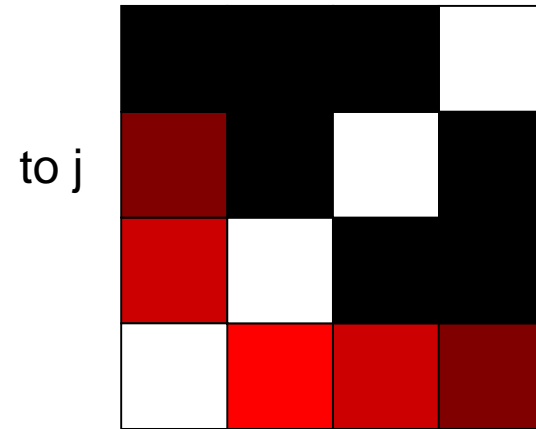


仕事の流れが効率的なパターン(2)

(2) Work Flows Inward パターン

“Work should be generated by customers, ..., and be carried out by implementation experts at the center.”

“仕事は顧客(最も外側の役割)によって作り出され, ..., 実装のエキスパート(内側の役割)によって実行されるべきである。”

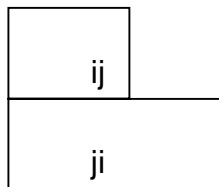


仕事の流れを内向きにするための本研究での案

第 i 階層と第 j 階層について $i < j$ とする.

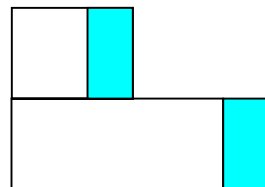
(第 i 階層が内, 第 j 階層が外)

パラメータ k を導入



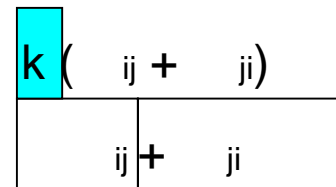
内から外

外から内

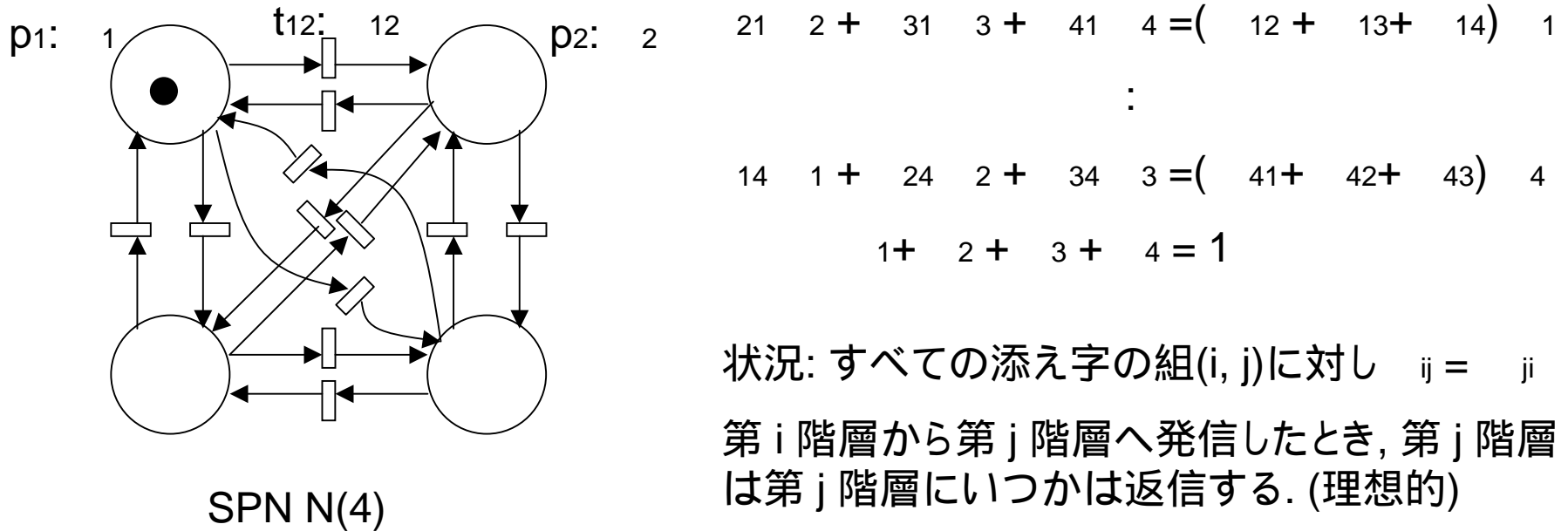


減らす

増やす



方程式の求解: ある理想的状況下で



$N(n)$ において上記の理想的状況を仮定すると
連立方程式の解は

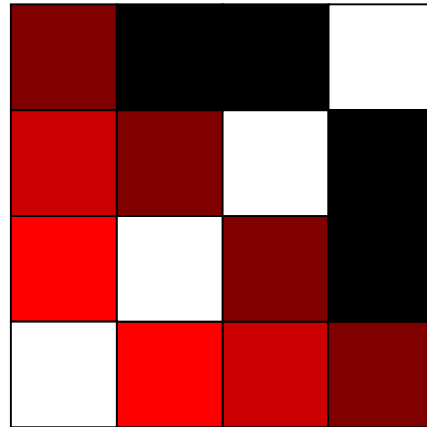
$$x_1 = x_2 = \dots = x_n = \frac{1}{n}$$

このとき, $F(n) = A(n)$, よって $E(n) = 1$.

発火率の行列の決定(1)

| | | | |
|----|----|----|----|
| 14 | 24 | 34 | |
| 13 | 23 | | 43 |
| 12 | | 32 | 42 |
| | 21 | 31 | 41 |

(1) Buffalo Mountain



| | | | |
|----|----|----|----|
| 20 | 17 | 14 | |
| 25 | 20 | | 14 |
| 33 | | 20 | 17 |
| | 33 | 25 | 20 |

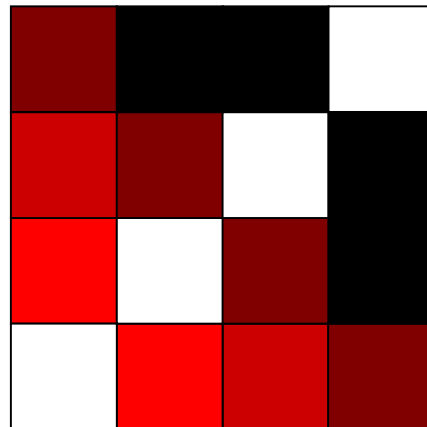
Buffalo Mountain パターンだけでは $E(n) = 1$ の理想的状況にとどまる.

Buffalo Mountain パターンと Work Flows Inward パターンを組み合わせると、**理想以上の状況**を得ることができる($E(n) > 1$).

発火率の行列の決定(2)

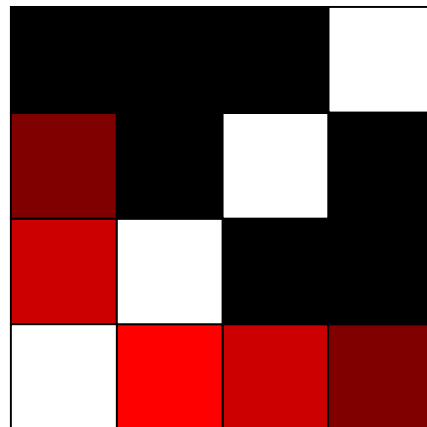
(1) Buffalo Mountain

| | | | |
|----|----|----|----|
| 14 | 24 | 34 | |
| 13 | 23 | | 43 |
| 12 | | 32 | 42 |
| | 21 | 31 | 41 |



| | | | |
|----|----|----|----|
| 20 | 17 | 14 | |
| 25 | 20 | | 14 |
| 33 | | 20 | 17 |
| | 33 | 25 | 20 |

+ (2) Work Flows Inward



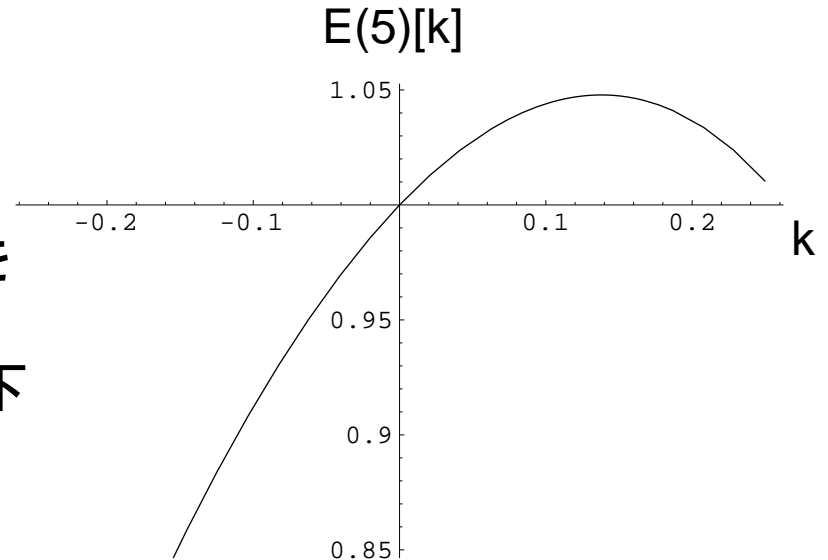
| | | | |
|------------|------------|------------|------------|
| 20 -40k | 17 -34k | 14 -28k | |
| 25 -50k | 20 -40k | | 14 +28k |
| 33 -66k | | 20 +40k | 17 +34k |
| | 33 +66k | 25 +50k | 20 +40k |

方程式の求解：2パターンの中で

SPN $N(5)$ の発火率を2つのパターンに従って与えたとき、発火効率 $E(5)[k]$ のグラフは右図のようになる。

$k = 0.138$ のとき、 $E(5)$ は極大値 1.048 をとる。

すなわち、Buffalo Mountain パターンの下で仕事を 13.8% 内向きに流すとき、仕事の流れが最適となる。



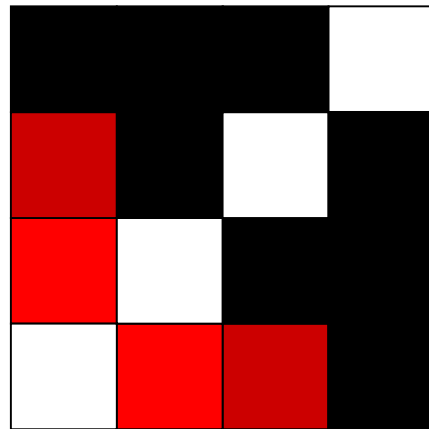
(注)階層数 5 について

パラメータ k を含むので、用いた計算環境では、この数までしか連立方程式が解けなかった。

他の発火率行列を与えた場合との比較

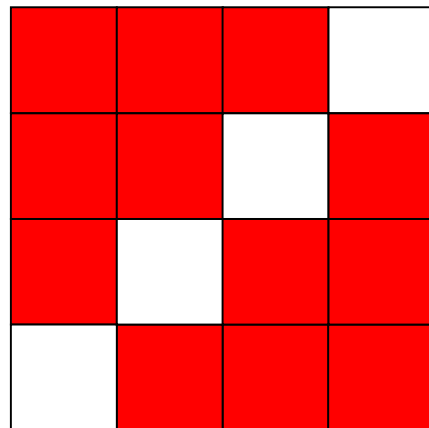
(1a) $i \cdot j$ に反比例する場合

| | | | |
|----|----|----|----|
| 14 | 24 | 34 | |
| 13 | 23 | | 43 |
| 12 | | 32 | 42 |
| | 21 | 31 | 41 |



| | | | |
|----|----|----|----|
| 25 | 13 | 8 | |
| 33 | 17 | | 8 |
| 50 | | 17 | 13 |
| | 50 | 33 | 25 |

(1b) すべてが等しい場合

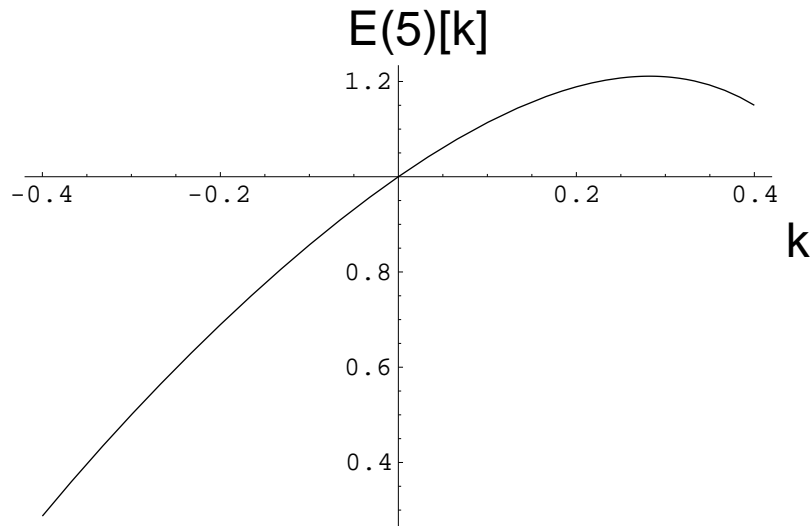


| | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| 100 | 100 | 100 | |
| 100 | 100 | | 100 |
| 100 | | 100 | 100 |
| | 100 | 100 | 100 |

比較用の行列に対し方程式を解く

(1a) と (2) パターンの下での $E(5)[k]$.

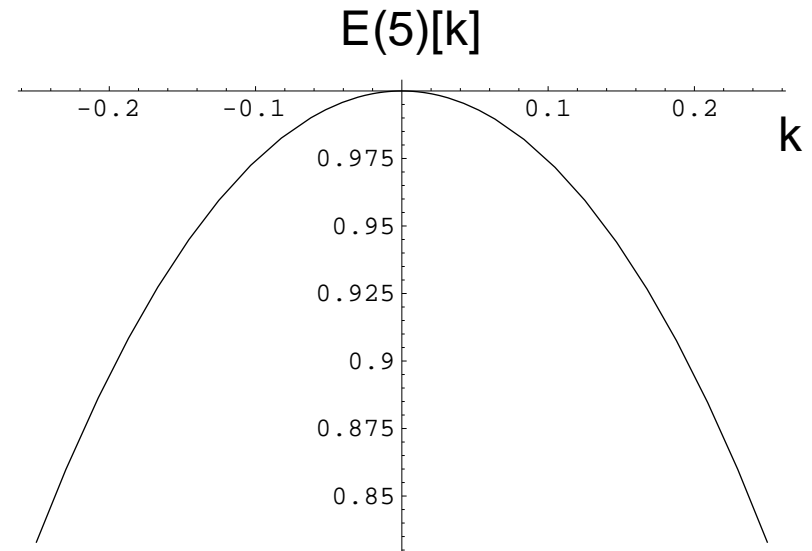
$k = 0.282$ のとき, $E(5)$ は極大値 1.211 をとる.



発火効率の大きさの観点からは (1)+(2) よりもこちらが好ましい.

(1b) と (2) パターンの下での $E(5)[k]$.

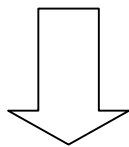
$k = 0$ のとき, $E(5)$ は極大値 1 をとる.



“反比例パターン” + “Work Flows Inward” によって仕事の流れを効率的にすることができる.

ロードバランスの観点からの考察

各ブレースでのトークンの滞在確率の分布



各役割が担う仕事の負荷の分布
(ロードバランス)

| パターン | E(5) | 1 | 5 |
|------------|-------|-------|-------|
| (1) + (2) | 1.048 | 0.317 | 0.129 |
| (1a) + (2) | 1.211 | 0.498 | 0.088 |

(1a)+(2) のパターンでは, 最上位の階層の負荷は最下位の階層の負荷の6倍にも上る.

上位階層の負荷がある程度高いのはやむを得ない. しかし6倍は高すぎるのではないか.

結論: (1)+(2) のパターンが適当である.

まとめ

- 仕事の流れの効率に関する組織パターンに理論的な裏付けを与えた.
 - Buffalo Mountain パターンと Work Flows Inward パターンを組み合わせると仕事の流れを効率化できる.
- 本発表の仮定の範囲内においてはああるが.

今後の課題: 現実のソフトウェア開発プロセスの改善支援に向けて

- ペトリネットのクラスの拡張
 - 本研究では $N(n)$ というペトリネットに限定した.
 - トークンの数も一つと限定した.
- 数学的にもっと精密な議論
- 具体的な(現実的な)発火率の変更の方法
 - 役割の責任を変更する, 等. (Coplien)
- 数式処理の効率化
 - Coplien は階層数16の例を挙げている.