
ITSにおける

知的ネットワークシステムの構築

- 知的信号機システムの提案 -

中島 史裕 (同志社大院)

廣安 知之 (同志社大工)

三木 光範 (同志社大工)

研究背景

インターネットの普及に伴うシステムのネットワーク化。



具体的なネットワークシステムの構成方法の検討。



知的ネットワークシステム

自律分散型のネットワークシステム

EX. 知的照明システム



ITSに適用し、その有効性を検証。

研究背景

ITS (高度道路交通システム)

人・道路・車のネットワーク化による各種の問題解決

渋滞問題 発生箇所のほとんどが交差点や合流部



交差点における交通管理の役割を果たす
信号機が重要

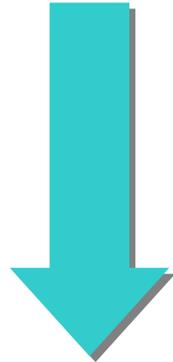


知的信号機システム

知的信号機システム

独立型知的信号機システム

自律分散システム → 信号機システム



信号機システムにおける自律分散システムの有効性の検証, および強化学習の学習方法の検討.

ネットワーク型知的信号機システム

知的ネットワークシステム → 信号機システム

知的ネットワークシステムの有効性の検証.

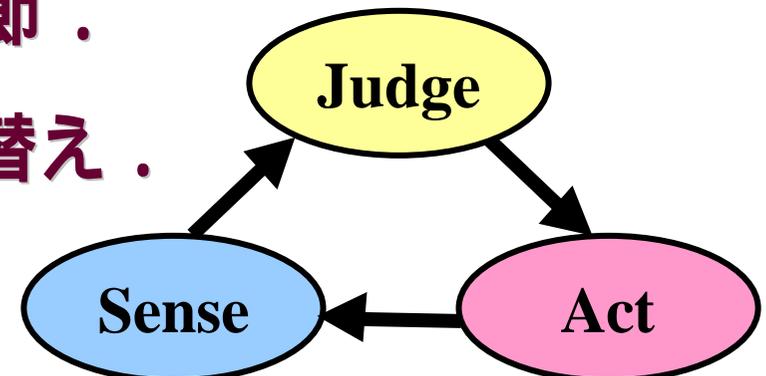
知的信号機システム

目的 交通渋滞を減少させる。

Sense 交通量を取得。

Judge 強化学習により自律的に判断基準を生成し、最適な動作を決定。

Act 信号機のサイクルを調節。
信号機の青,赤の切り替え。



強化学習

Q-Learning

状態 s_t と行動 a_t の組に対する評価 (Q値) を見積もる。

$$Q(s_t, a_t) \leftarrow (1 - \alpha) Q(s_t, a_t) + \alpha \left[r_t + \gamma \max_a Q(s_{t+1}, a_t) \right]$$

学習率 $(0 < \alpha < 1)$, 割引率 $(0 \leq \gamma < 1)$

Q値を与える状態」と行動」の設定が重要



異なる状態」と行動」を設定したシステムを提案し、その有効性を検証。

状態」と「行動」の設定

状態

状態1 :交差点単位の累積交通量

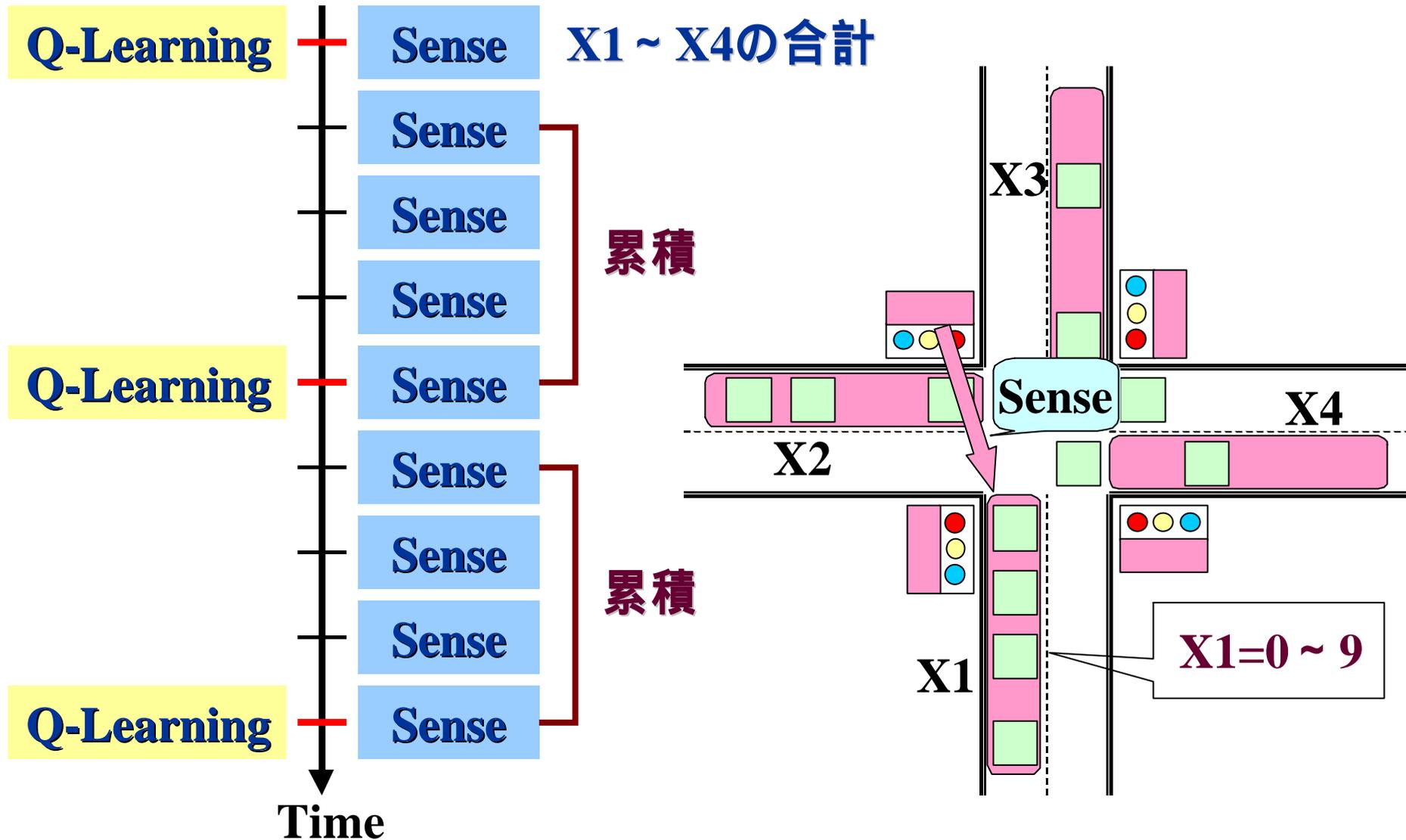
状態2 :交差点の渋滞パターン

行動

行動1 :サイクル値の増減

行動2 :信号機の状態 (青・赤) の決定

状態1(交差点単位の累積交通量)



状態2 (交差点の渋滞パターン)

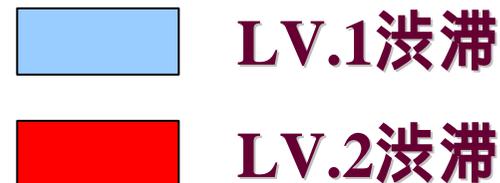
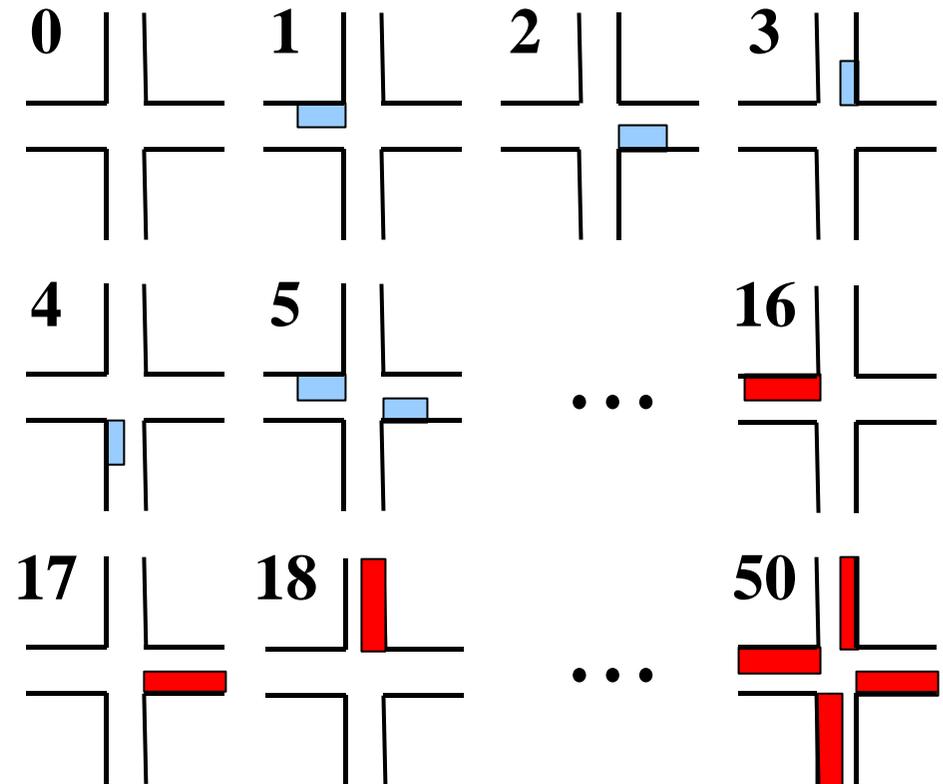
各交差点の渋滞状況を
パターン化 (全51状態)

LV.1渋滞

交差点から車が3~5台
連続している場合

LV.2渋滞

交差点から車が6台以上
連続している場合



行動

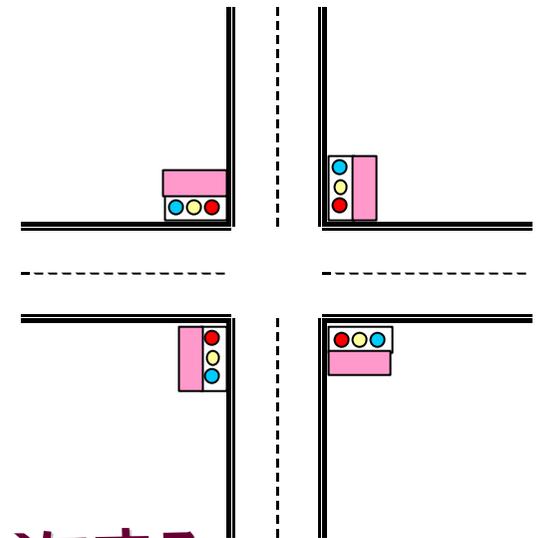
行動1 (サイクル値の増減)

Act(1)

横方向の青信号 (赤信号) の時間を短縮 (延長) する。

Act(2)

横方向の青信号 (赤信号) の時間を延長 (短縮) する。



行動2 (信号機の状態の決定)

Act(1)

横方向の信号機を赤 (縦方向を青) にする。

Act(2)

横方向の信号機を青 (縦方向を赤) にする。

独立型知的信号機システム

知的信号機システム1

状態 交差点単位の累積交通量

行動 サイクル値の増減

状態」設定
の検証

知的信号機システム2

状態 交差点の渋滞パターン

行動 サイクル値の増減

行動」設定
の検証

知的信号機システム3

状態 交差点の渋滞パターン

行動 信号機の状態 (青・赤) の決定

Q-Learningにおけるパラメータ設定

学習率 : **0.07**

割引率 : **0.9**

Q値の初期値 : **0.1**

行動選択方法 : **Boltzmann選択**

$$p(a_t | s_t) = \frac{e^{Q(s_t, a_t)/T}}{\sum_{k \in \text{actions}} e^{Q(s_t, a_k)/T}}$$

温度定数T : **0.2**

知的信号機システム1

各交差点の交通量を取得。

各交差点の累積交通量を計算し、これを状態とする。

決められた行動選択方法により行動を決定し、実行する。

報酬を受け取る。

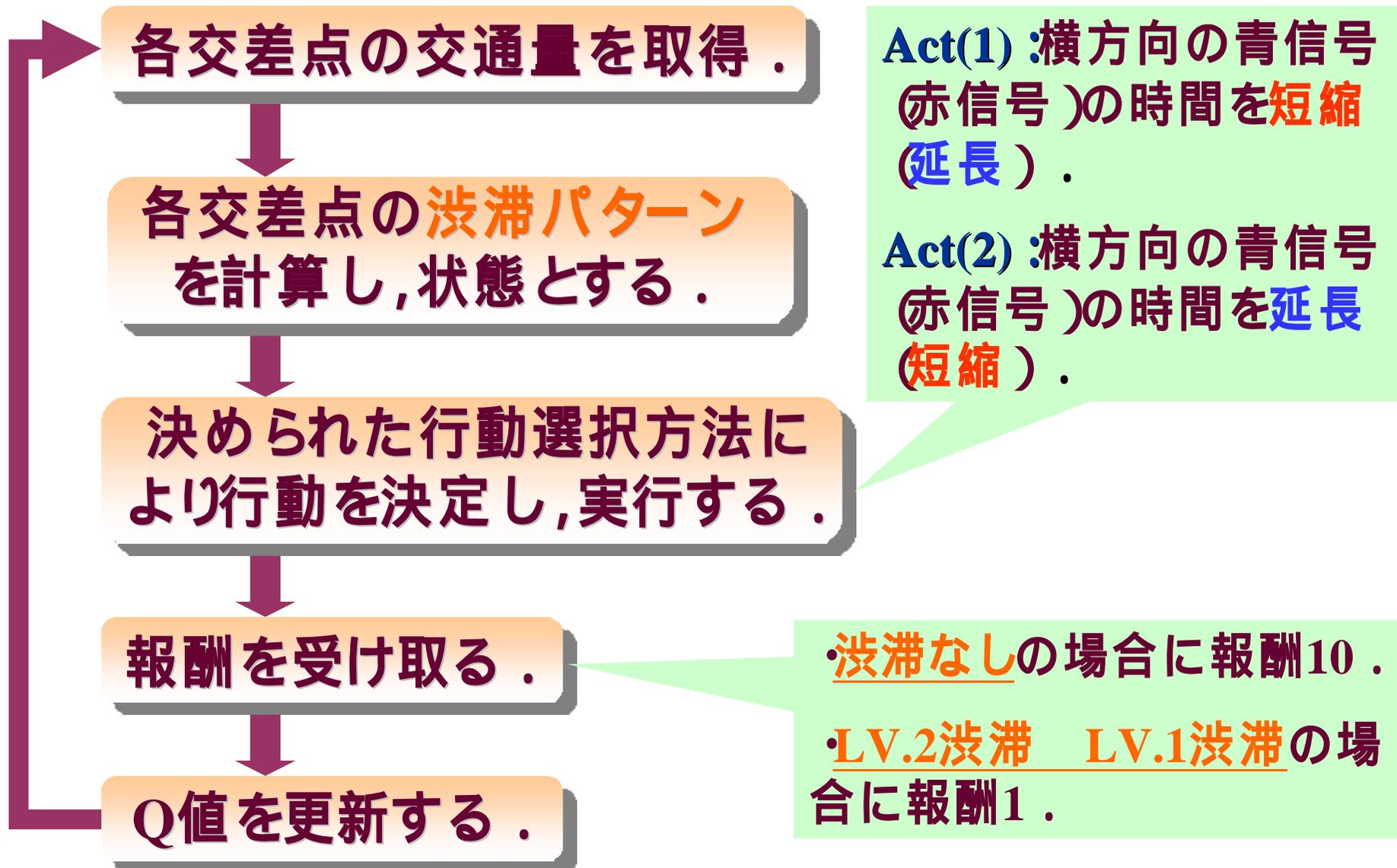
Q値を更新する。

Act(1) :横方向の青信号(赤信号)の時間を短縮(延長)。

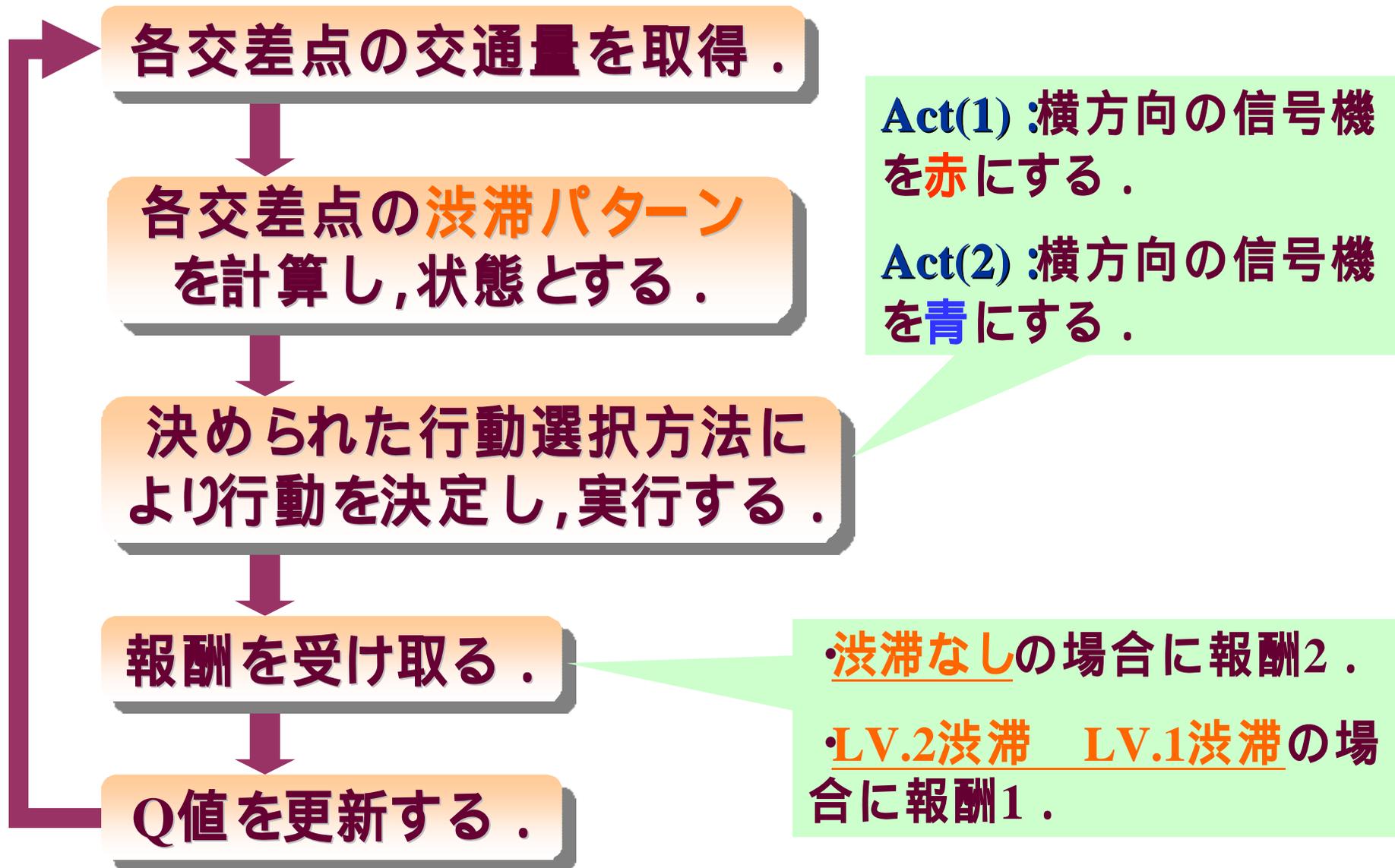
Act(2) :横方向の青信号(赤信号)の時間を延長(短縮)。

前の状態(累積交通量)と比べて、交通量が減少していた場合に報酬1を与える。

知的信号機システム2

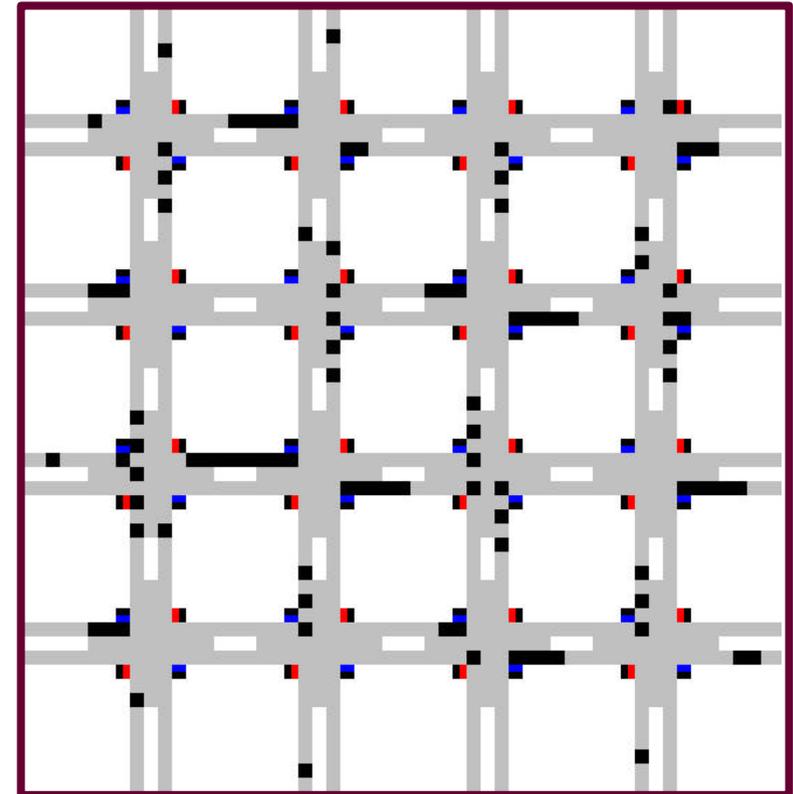


知的信号機システム3



シミュレーションの環境

動作方法：セルラーオートマトン
道路：4×4の格子状(16交差点)
車発生確率：一定
車発生比率：上から3本目が2,他1.
基本サイクル：80(steps)
スプリット：1:1(青:赤)



車の動作

- 発生時の進行方向を目的方向とし,基本的に直進.
- 交差点先が渋滞している場合は左折後,右折して回避.

信号機故障時のシミュレーション

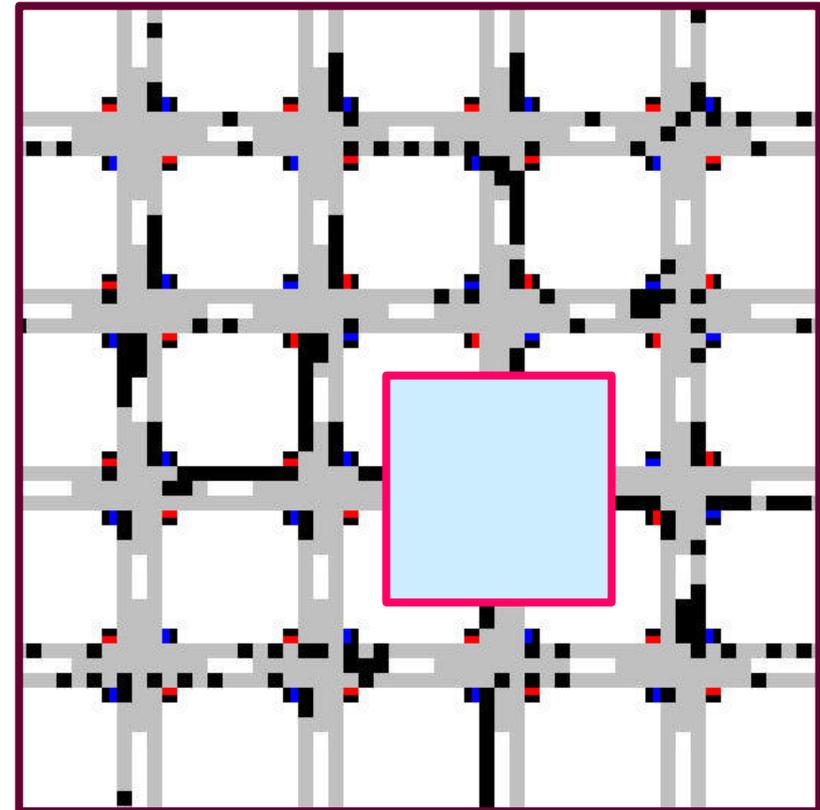
信号機が故障した時に発生する渋滞への対応をシミュレーションで検証。



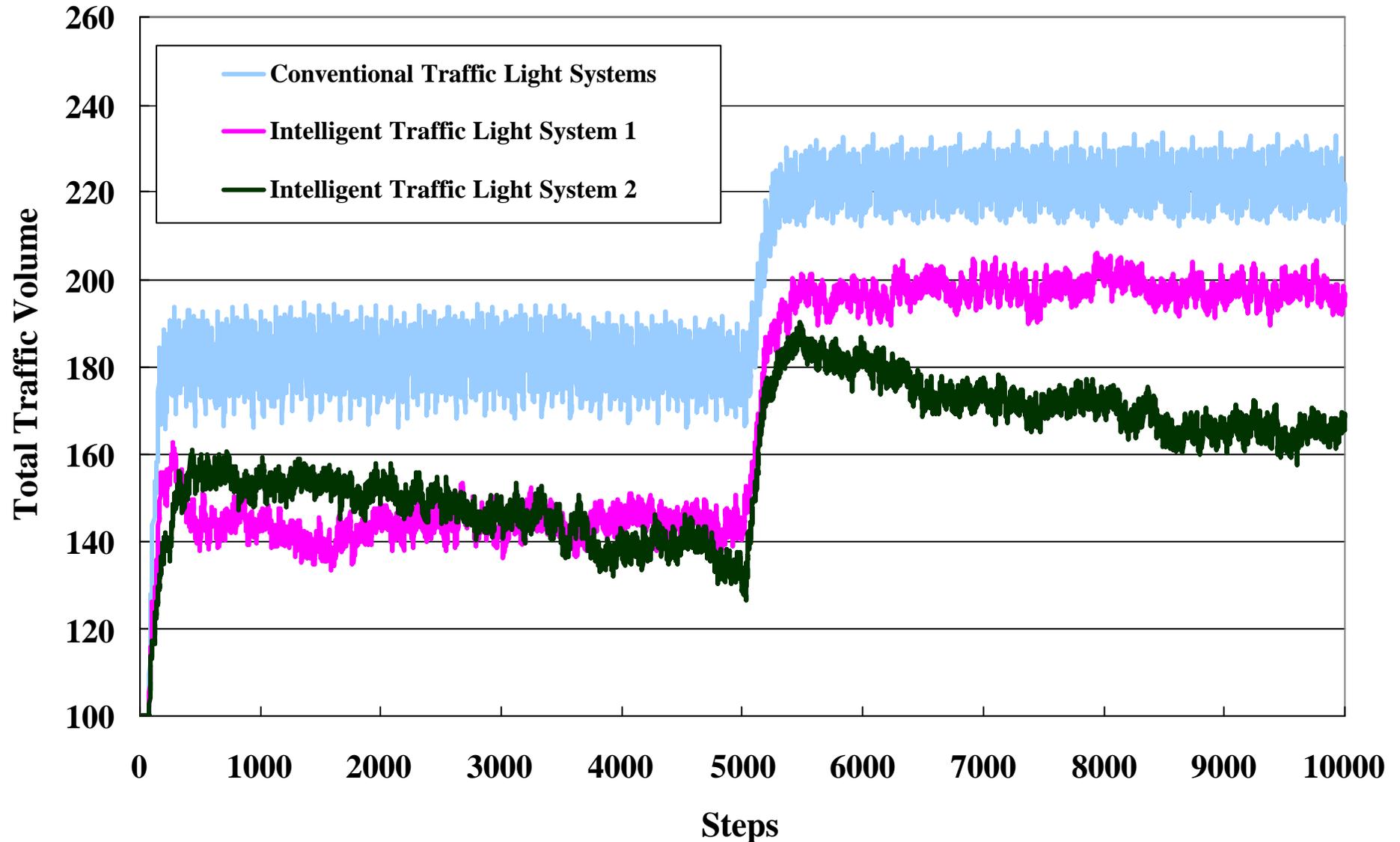
5000(steps)に信号機が故障 (全て赤信号)。



周囲の交通状況に影響



状態」に関する比較



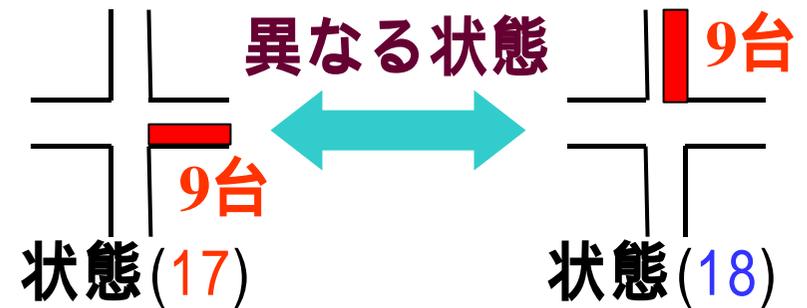
「状態」に関する考察

交差点単位の累積交通量
(知的信号機システム1)



Q値の差が開かない。

交差点の渋滞パターン
(知的信号機システム2)

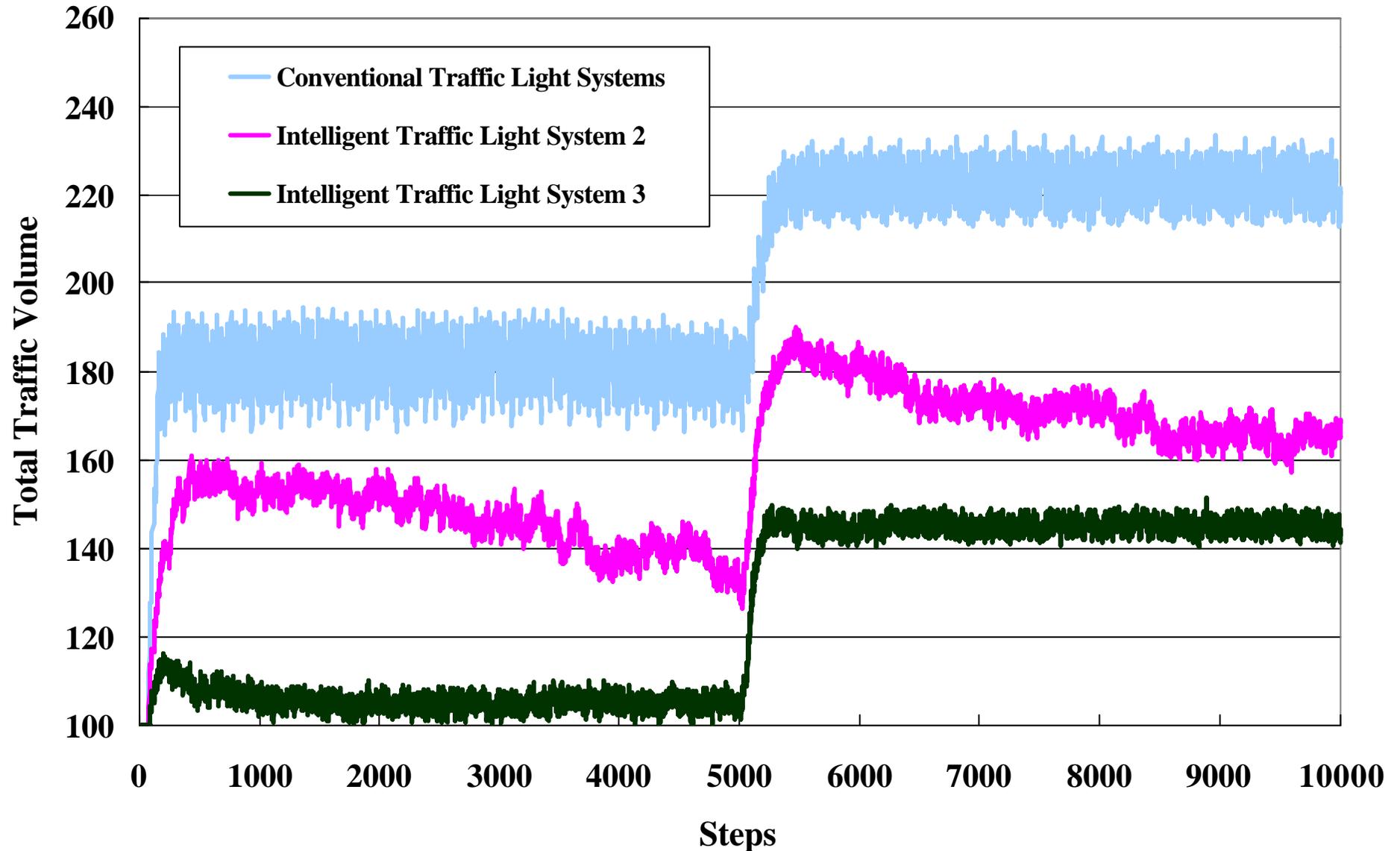


Q値の差が開く。

「交差点の渋滞パターン」が有効。

縦・横の交通流が明示的な「状態」の設定が必要。

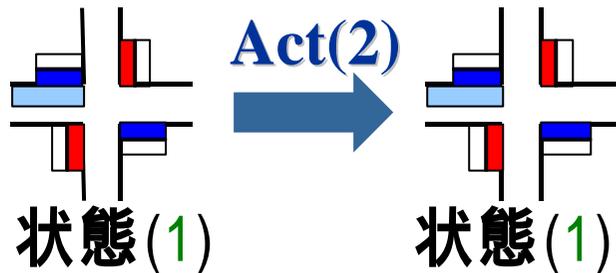
「行動」に関する比較



「行動」に関する考察

サイクル値の増減
(知的信号機システム2)

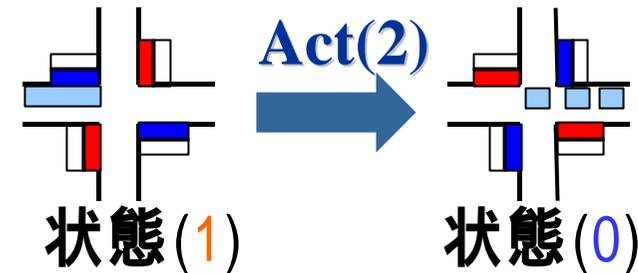
信号機の時間を変化させる。



良い「行動」をとっても「状態」
に反映されない場合がある。

信号機の状態の決定
(知的信号機システム3)

信号機の状態を変化させる。



良い「行動」が「状態」
に必ず反映される。

信号機の状態の決定」が有効。

直接的に「状態」を変化させる「行動」の設定が必要。

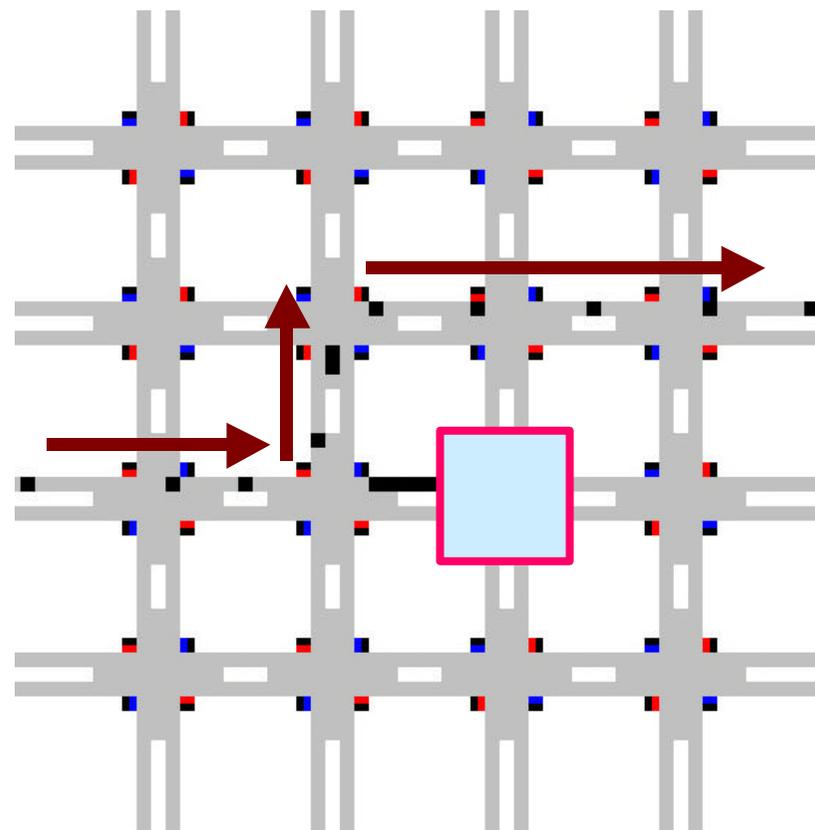
交通流を限定したシミュレーション

交通流を上から3本目の左方向のみにすることで、学習効果が明確になる。

途中から信号機を故障させることで、車の流れが変わる。



交通流に沿って青信号が続くような「行動」を選択するようになる。



独立型知的信号機システムにおける考察

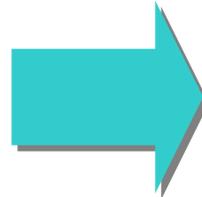
強化学習により,信号機システムにおける
自律分散システムの有効性が検証できた。

状態

交差点の渋滞パターン

行動

信号機の状態の決定



知的信号機システム3

知的信号機システム3のアルゴリズムを用いた知的ネットワークシステムの適用

ネットワーク型知的信号機システム

知的ネットワークシステム → 信号機システム

ネットワーク化による有効性の検証。

知的信号機システム3(a)

周辺を含めた広域の交通量の減少を目的とする。

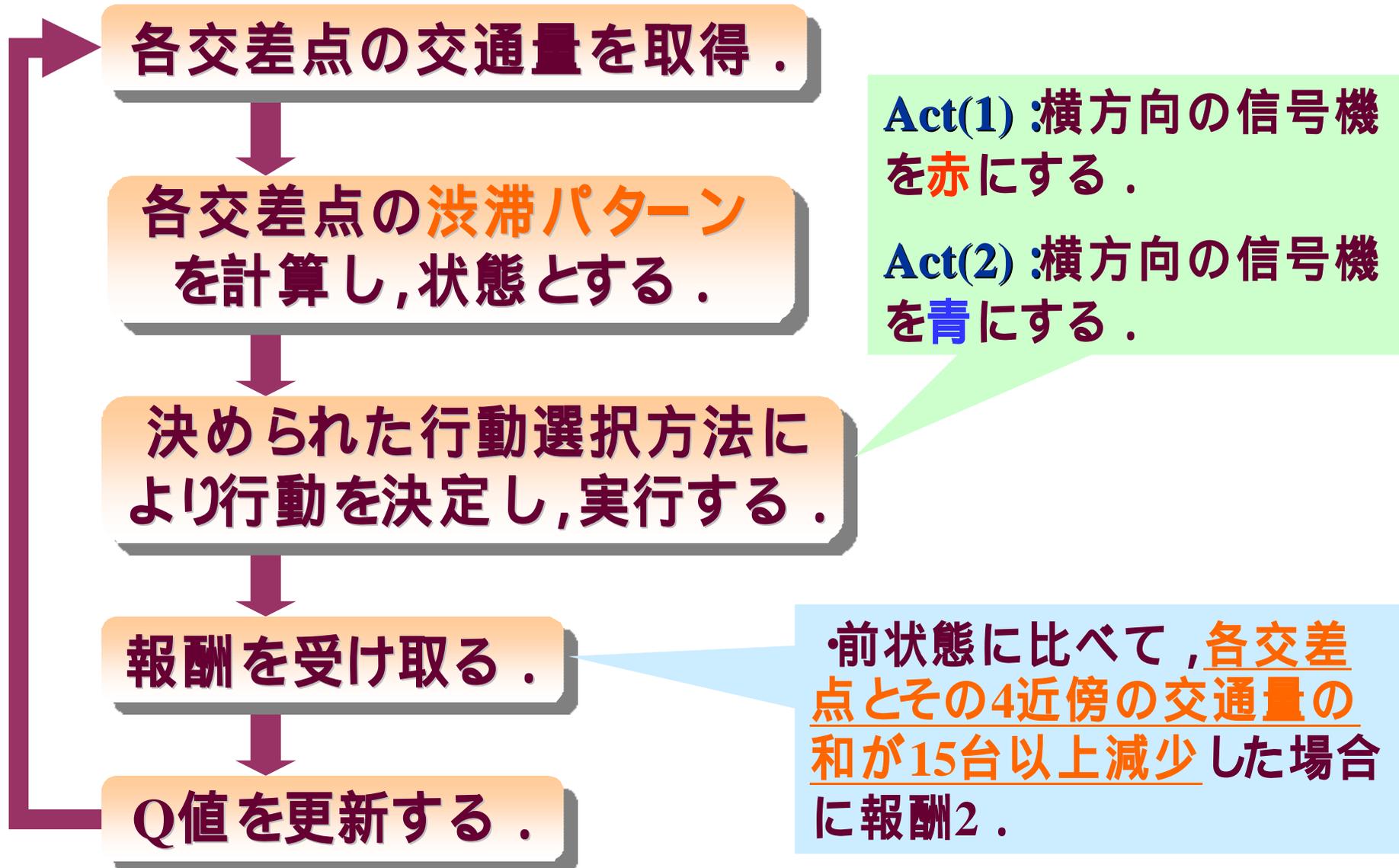
↳ 4近傍の交差点の交通量情報を参照。

知的信号機システム3(b)

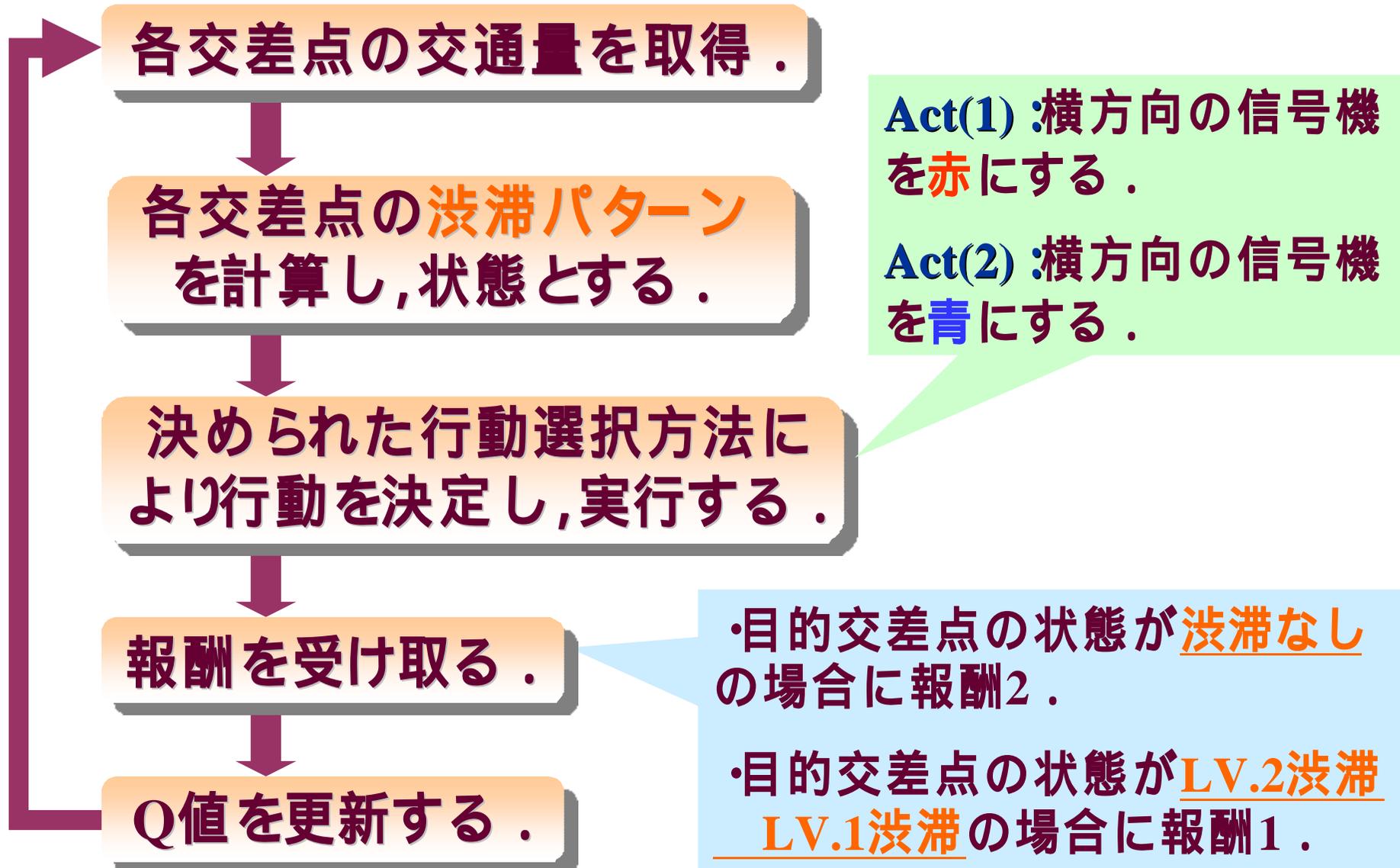
一つの交差点の交通量の減少を目的とする。

↳ 目的交差点の交通量情報を参照。

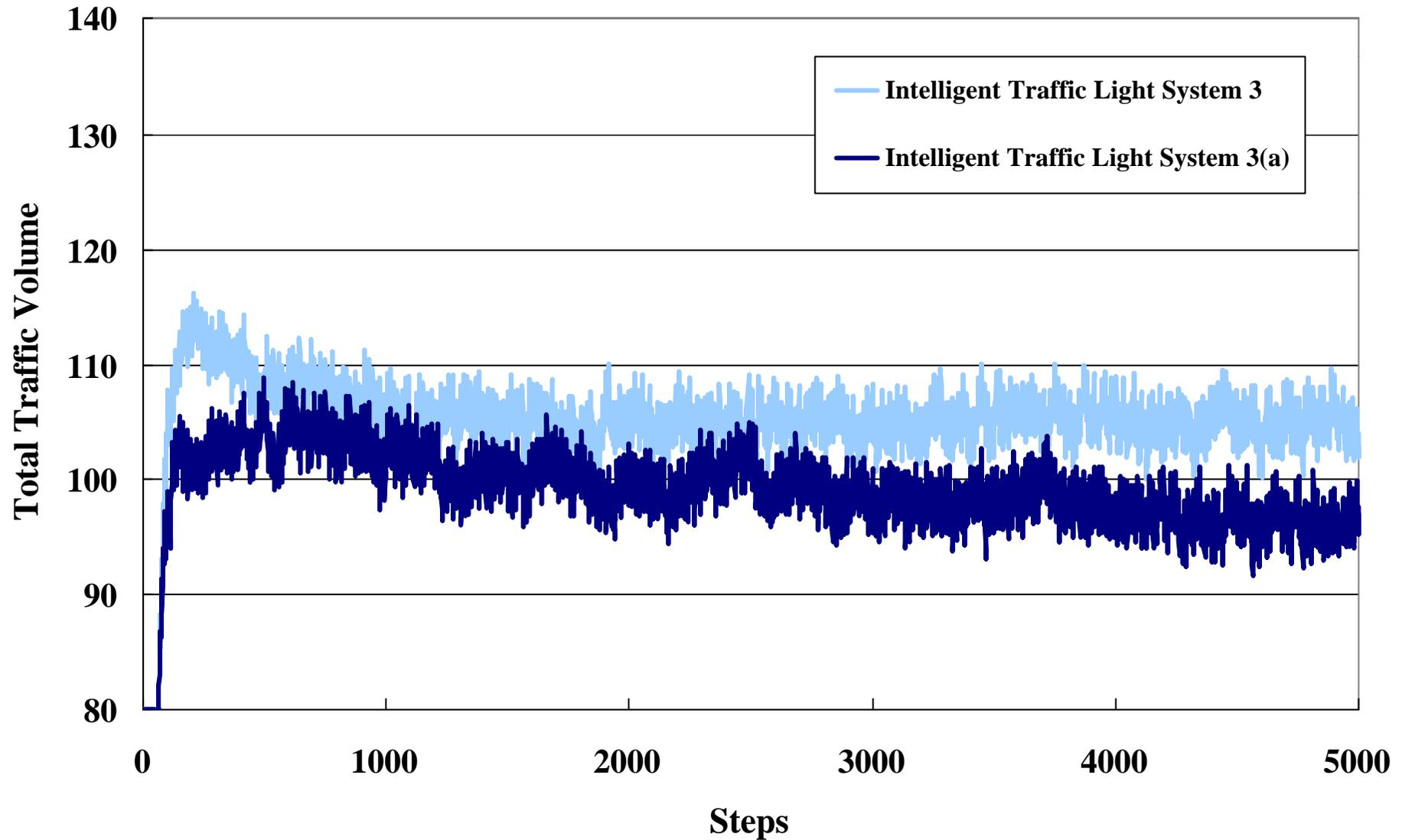
知的信号機システム3(a)



知的信号機システム3(b)



広域の交通量を参照した結果



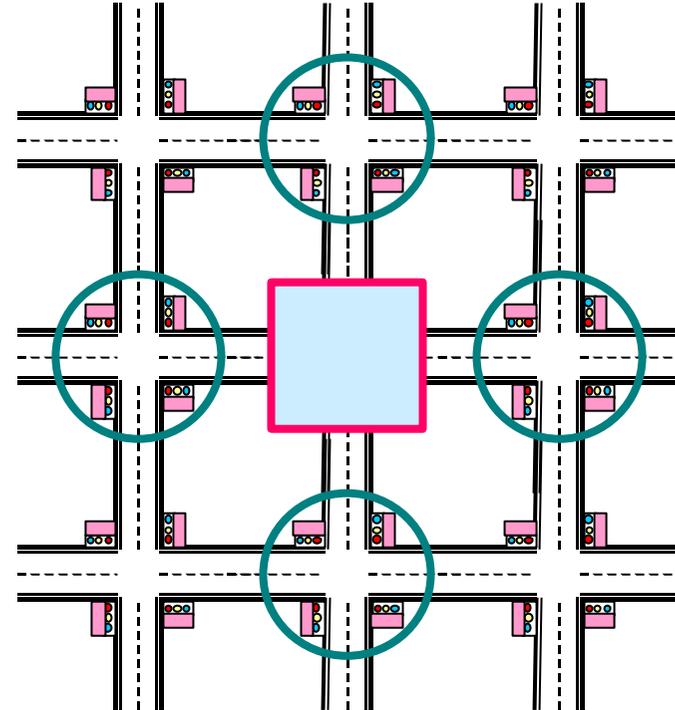
知的信号機システム3(a)におけるシミュレーション結果の考察

広域の交通量の減少が目的

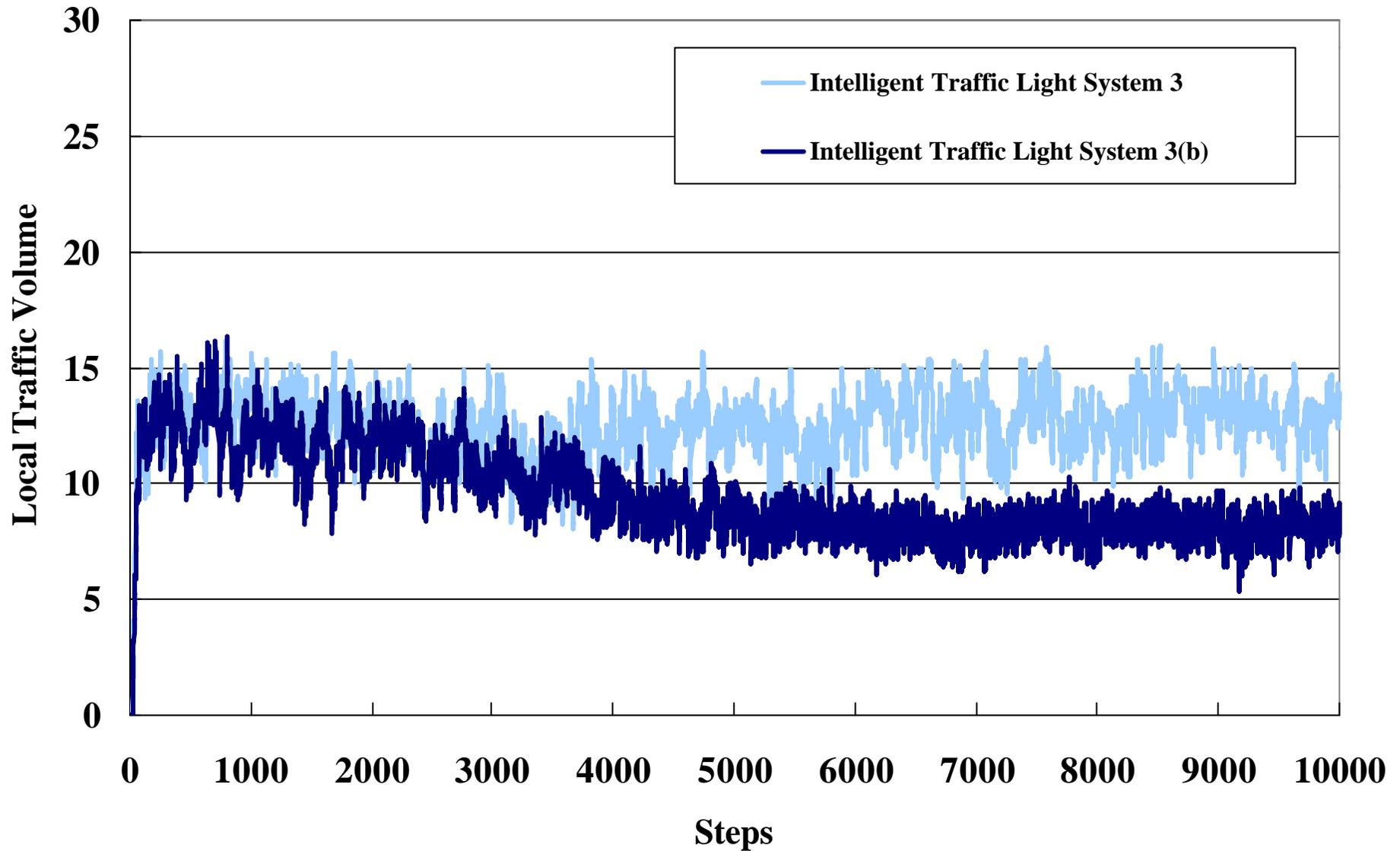
4近傍の信号機のSense部が
取得した交通量情報を参照。



ネットワークを介して、他の信号機のSense部を利用。



目的交差点の交通量を参照した結果



知的信号機システム3(b)におけるシミュレーション結果の考察

目的交差点

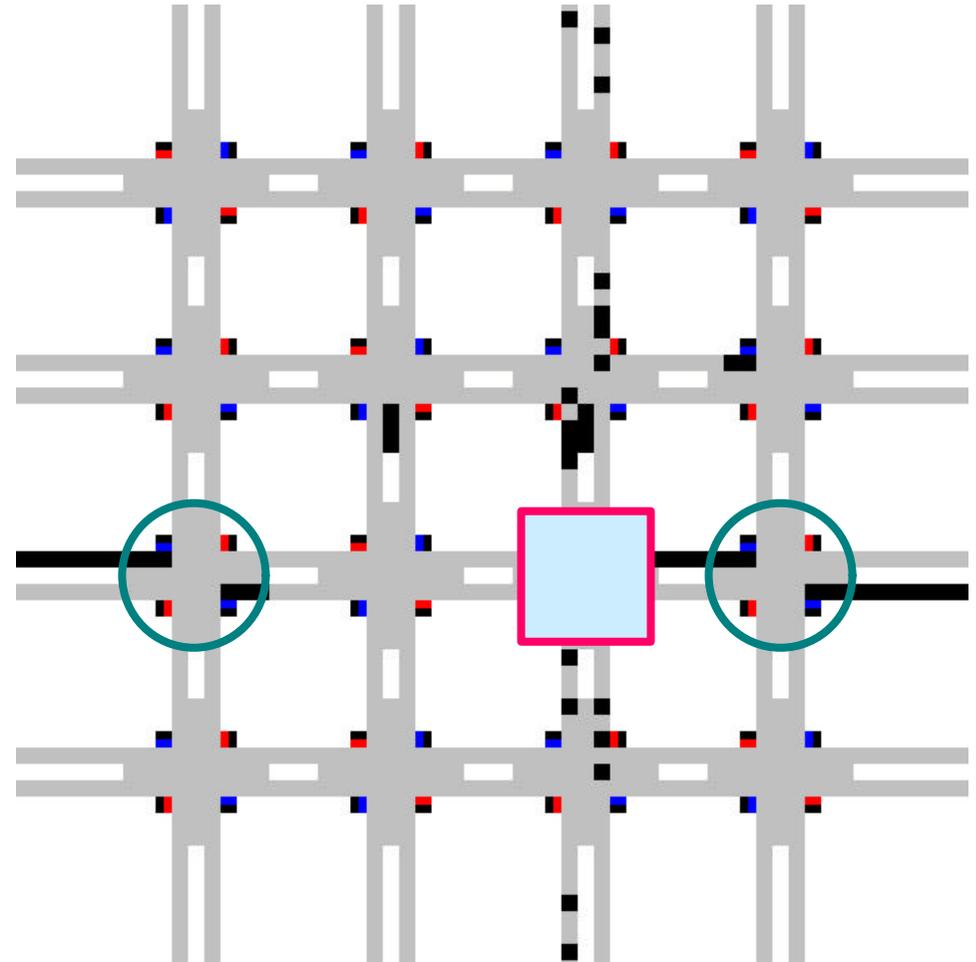
他の交差点信号機のAct部を利用。

他の交差点

目的交差点信号機のSense部を利用。



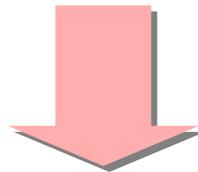
ネットワークを介して,他の信号機のSense部やAct部を利用。



結論1

- 自律分散システムの信号機システムへの適用．
- 知的ネットワークシステムの信号機システムへの適用．
- 知的人工物のJudge部におけるQ-Learningの適用．

シミュレーション結果から,従来型の信号機システムに比べ,良い性能を示した．



信号機システムにおいて,自律分散システム
および知的ネットワークシステムは有効である．

結論2

- ・Q値を与える「状態」および「行動」の設定が重要。
- ・縦と横の交通流を明示的にする「状態」の設定。
- ・直接的に状態を変化させるような「行動」の設定。
- ・信号機故障の場合、他の信号機により機能低下を補うことが可能。
- ・ネットワーク化により、他の信号機のSense部およびAct部の有効利用が可能。

今後の課題

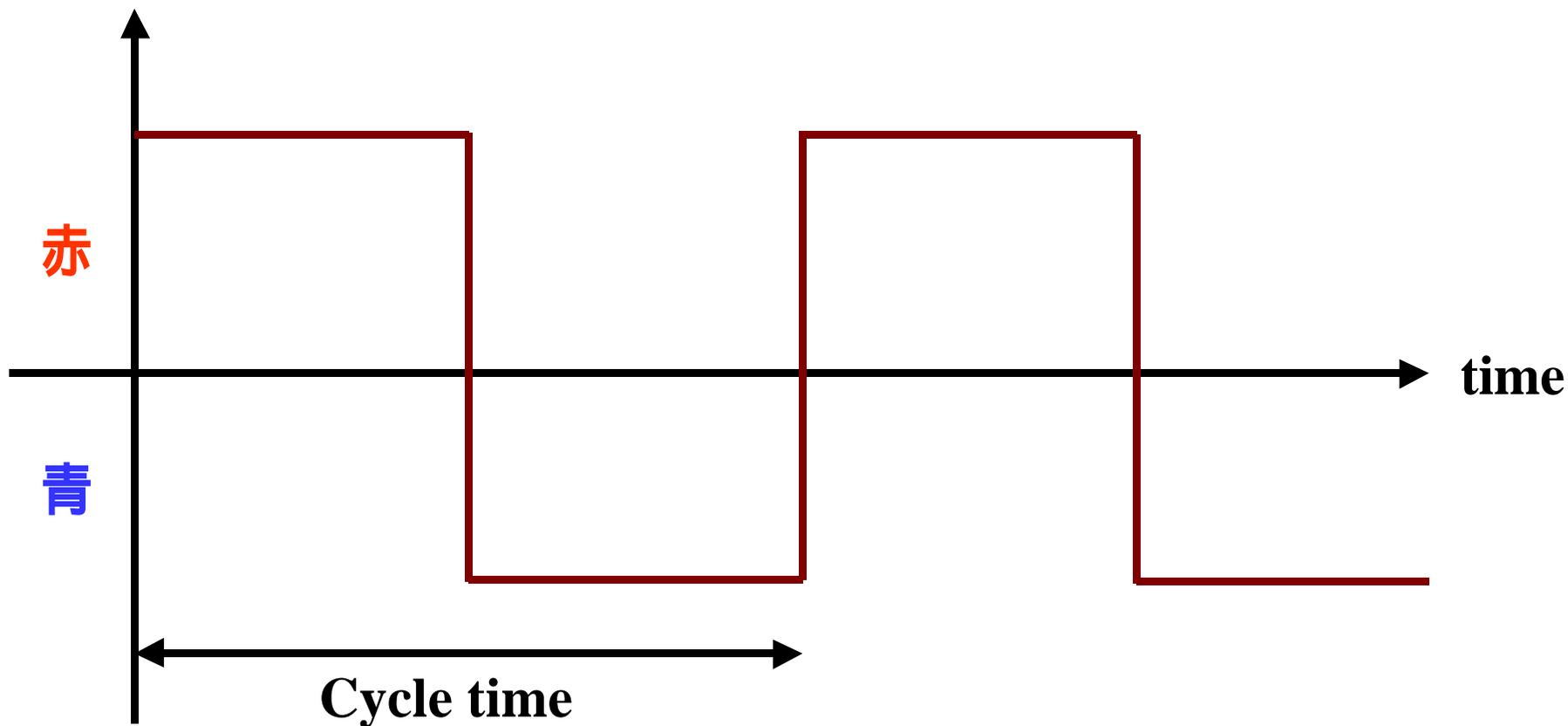
・知的信号機システムに与える目的の設定方法．

・強化学習における他手法との比較．

・Q値における動的変化の検討．

- 突発的な環境変化に対する柔軟性の欠如の可能性．
- 一定時間毎に初期状態に近づけるQ値の動的変化．

補足 : 信号機のサイクル



補足 :Q値の更新状況 (知的信号機システム3)

*****Step1000のQ値*****

信号機3

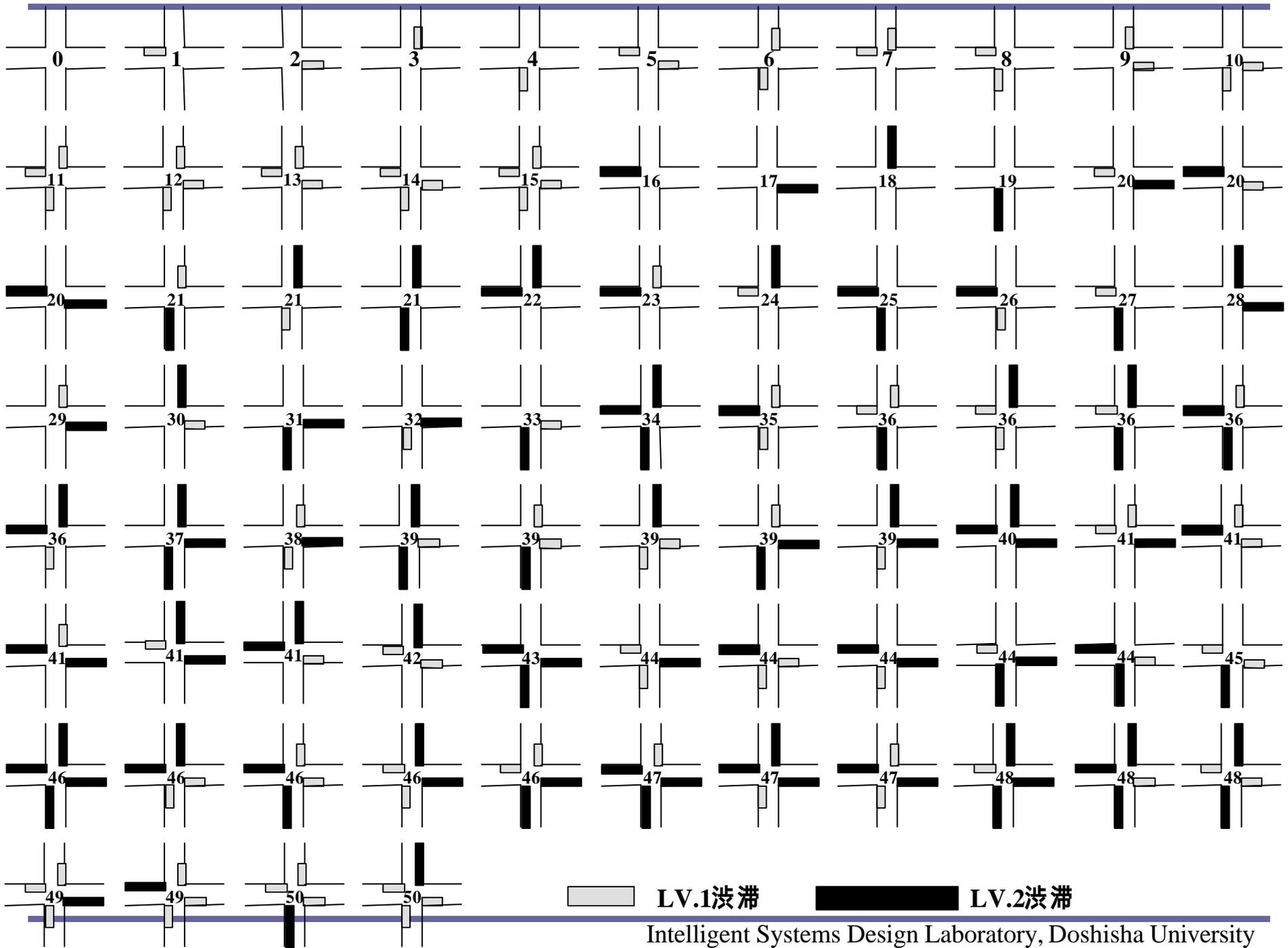
q0(0) 1.36644771261504
q0(1) 2.034504053187063
q1(0) 0.11687912507441091
q1(1) 0.48950989456202426
q2(0) 0.15465956227040462
q2(1) 1.1276795869646143
q3(0) 0.6289013133037114
q3(1) 0.10674727318193139
q4(0) 1.4330664071220742
q4(1) 0.12793975804885488
q5(0) 0.15802097596076287
q5(1) 0.6511083772538838
q6(0) 0.30101107434937613
q6(1) 0.0993
.
.



*****Step10000のQ値*****

信号機3

q0(0) 1.5380964883540666
q0(1) 10.767915416687488
q1(0) 0.11687912507441091
q1(1) 0.48950989456202426
q2(0) 0.15465956227040462
q2(1) 7.300104284382606
q3(0) 9.720320868541936
q3(1) 0.10674727318193139
q4(0) 10.072004246927069
q4(1) 0.12793975804885488
q5(0) 0.15802097596076287
q5(1) 0.6511083772538838
q6(0) 9.080670332151792
q6(1) 0.0993
.
.



補足 知的人工物

知的ネットワークシステム

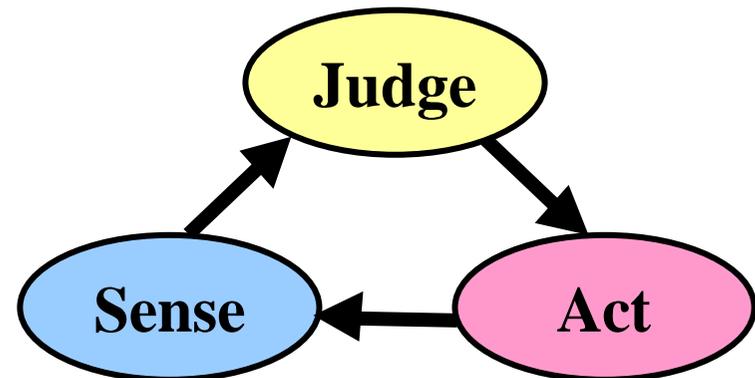
知的人工物をネットワークにつなぎ、
システム化させたもの。

知的人工物

Sense 外部環境をセンス

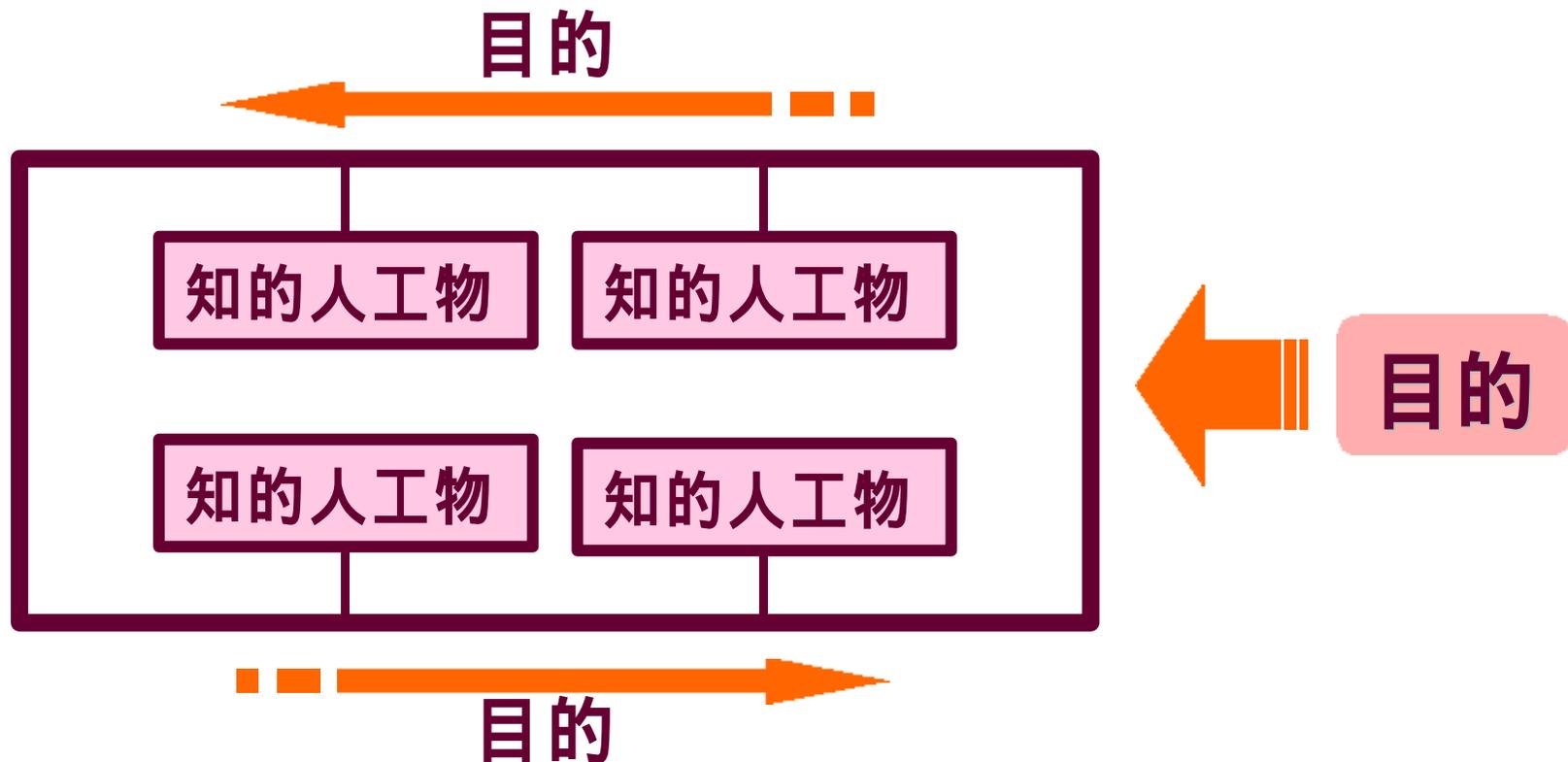
Judge 最適動作を計画

Act 実行



補足 知的ネットワークシステム

主制御器が存在せず, ネットワークに接続されている各機器 (知的人工物) がそれぞれ自律的に動作する。



補足 知的ネットワークシステムの特徴

- ネットワークに「目的」を与えておくだけで自律的に行動し、目的を達成する。
- 機器のネットワークへの参入・離脱が容易である。
- 1つの機器では不可能な作業を行うことができる。
- ある機器の故障時に起こる機能低下を他機器で柔軟に対応し、補うことができる。
- 既存機器のみで新しい機能を生み出せる。
- ネットワークの機能を有していれば、システムに接続する知的人工物の種類は問わない。