

## 通信・交通統合環境の性能評価を可能とする ITS統合シミュレータの提案と構成

知加良 盛 藤井 裕順 川崎 良治

NTTサービスインテグレーション基盤研究所  
〒239-0847 神奈川県横須賀市光の丘1-1

E-mail: {chikara, fujii, kawasaki}@nttmhs.tnl.ntt.co.jp

あらまし

ITS はアーキテクチャやサービスの策定段階からシステム設計・構築・導入の段階になってきている。ITSを構成する機能要素は多岐にわたるため、より効果的なシステムとするにはITSネットワークサービスをシミュレーションにより事前評価することが重要である。本稿では、通信・交通の両面からITS環境における情報ネットワークサービスを総合的・効率的に評価するためのITS統合シミュレーションモデルを提案し、評価尺度、シミュレーションの効率化について論じる。

## An Integrated Simulator for ITS Performance Evaluation from Transport and Telecommunication Views

Sakae CHIKARA Hiroyuki FUJII Ryoji KAWASAKI

NTT Service Integration Laboratories  
1-1 Hikarinooka, Yokosuka-shi, Kanagawa, 239-0847

E-mail: {chikara, fujii, kawasaki}@nttmhs.tnl.ntt.co.jp

Abstract

Recently, research and development activities on ITS have been directed to reality from vision. Because of the complexity of ITS, simulation methods will play more important role to evaluate systems towards deployment and service provisioning. In this paper, we propose an integrated simulator for ITS from Transport and Telecommunication views, which can efficiently analyze and evaluate information networking services over ITS environment. This paper also discusses evaluation criteria and effective use of proposed simulation system.

### 1. はじめに

ITS (高度道路交通システム) は人と車と道路を、通信システムでつなぐことにより、交通の効率化、円滑化を図るためのシステムであり、ITS関連省庁においてアーキテクチャ及びサービスの策定が行われ、民間企業との連携により研究開発・実用化検討が行われている。

ITSを構成する機能要素は多岐にわたるため、システム設計パラメータや導入効果を評価するには、シミュレーション手段が有効である。例えば、ETC や VICS の導入効果を評価するためのシミュレータの開発・評価などが行われている[1][2][3]。しかしながら、これらのシミュレーシ

ョンでは、交通流の評価を主な対象とし、通信設備構成を考慮していない。このほか、交通網や通信網を一部考慮したシミュレーションも行われている[4]が、道路構造はメッシュ構造とし無線エリアは等間隔で配置しており、実際の道路構造や通信設備構成を反映していない。

ITS はアーキテクチャ策定から徐々に実際のシステム構築・導入の段階に入り、地域ITS構想なども進められているため、シミュレーション評価を行う際にも、具体的なシステム構成やそれぞれの地域特性を考慮する必要性が高まってきている。特に、ITSの特徴である通信システムの利用効果を評価するには、実際の道路構造と通信設

備構成を反映した上で、ユーザ行動に起因する通信・交通の相互作用をより詳細にシミュレーション評価していく必要がある。

評価対象をより詳細に表現しシミュレーション評価するには、シミュレーション対象要素数を多くしなければならず、多大な評価時間がかかることも予想される。また、ITS サービスの提供形態の違いにより、通信・交通それぞれに必要とされる詳細度が変わってくることも考えられるため、できるだけ通信・交通両対象の詳細度やアルゴリズムの違いに柔軟に対応できるシミュレータ構成とする必要がある。

本稿では、上記問題に対処し、通信・交通の両面から ITS 環境における情報ネットワークサービスを総合評価するための ITS 統合シミュレーションモデルを提案し、評価尺度、シミュレーションの効率化について論じる。2章では ITS 統合シミュレータの概念と ITS システムの評価尺度について論じる。3章では ITS 統合シミュレータの機能構成について述べる。4章ではシミュレーションの統合化・効率化手法として、基地局ブリッジ及びパケット遅延時間等価変換手法について述べる。5章ではシミュレーション例及び基本性能について述べ、本シミュレータの ITS 評価への適用性について論じる。

## 2. ITS 統合シミュレータの概念

### 2.1 基本概念

ITS 統合シミュレータは、種々の ITS サービスに応じた通信網・交通網を模擬し、ユーザ行動及びその結果起こる通信・交通システムの挙動を分析することを目的としている。ITS サービスによる情報流・交通流の時間的・空間的分散特性を把握するため、交通網、ユーザ行動、通信設備/情報量を含めた ITS サービス提供システムを評価対象とする。

図2.1にシミュレータの概念を示す。ユーザとしては自動車運転者（ドライバー）、歩行者、公共交通機関利用者等が考えられるが、自家用車や商用車を運転するドライバーを主な要素とし、目的地や経路地の条件、経路選択の方法の違い、利用する情報の違い、通信発着タイミング及び頻度の違いなど、ユーザ行動の違いによる ITS システムへの影響を主な評価対象とする。交通網としては道路網、通信網としては移動通信網及び固定通信網を想定し、交通渋滞状況や通信設備使用状況を主な評価対象とする。サービスサーバとしては、情報提供・案内機能及び情報収集機能をもつものを想定し、ITS サービスの核となるサービスロジックを主な評価対象とする。これらにより、情報ネットワークサービスの視点及び道路交通

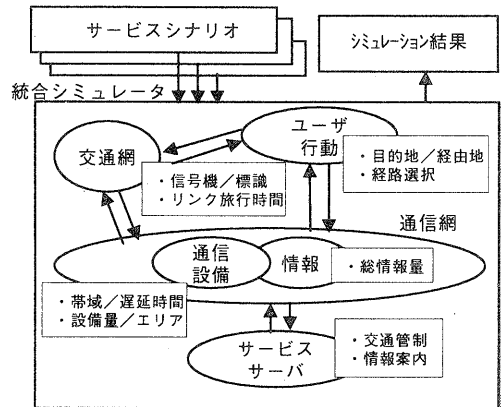


図2.1 ITS 統合シミュレータの概念

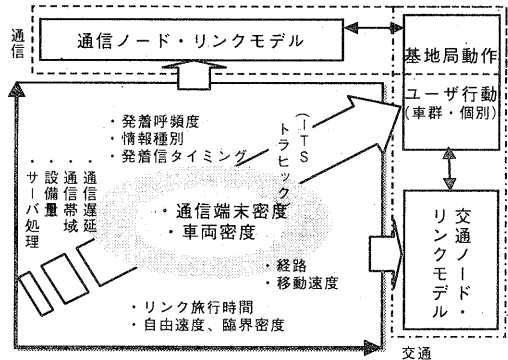


図2.2 評価尺度

の視点に立ち、ITS システム全体を総合的に評価する。

### 2.2 評価尺度

通信・交通両シミュレーションを統合化する ITS 統合シミュレータでは例えば、以下の評価が行えるようにすることを目的とする。特に、通信設備量と発生情報量による遅延時間が交通流に及ぼす影響に関係した評価をより詳細に行う。

- ・渋滞と通信負荷（情報量、遅延時間）
- ・道路構造・信号機タイミングと通信挙動
- ・渋滞予測
- ・経路情報、渋滞情報提供方法

ITS においては通信システム・交通システム共に主なトラヒックの発生源は移動体（車両）である。車両に付随する通信端末密度及び車両密度をトラヒック発生量の大きな変動要因として捉えることができる。通信網では設備量/情報量と遅延時間の関係が主な評価尺度となる。交通網では経路情報とリンク旅行時間が主要な評価尺度となる。これらの評価尺度を基本とし、車両密度と

通信端末装着率等を元にトラフィック発生源の特性を分析し総合評価を行う。(図2.2)

通信システムにおいてはサービスサーバがトラフィック発生源に加わるため、サーバのサービスロジックと関連した評価尺度を設けることも重要となる。サーバの応答時間、情報更新頻度、情報源の範囲、情報の精度などが評価尺度となり、これらに基づき通信負荷や渋滞への影響度を評価する。

上記評価尺度に関する考え方を元に、評価尺度に対応したパラメータを展開できるようなシミュレータ構成にすることが有効であると考えられる。通信端末密度・車両密度とユーザ動作の観点から基地局動作とユーザ行動を表現できる機能と共に、通信特性評価に特化した部分は通信シミュレーション機能に、交通特性に特化した交通シミュレーション機能に分割して構成する。

### 3. ITS 統合シミュレータ機能構成

#### 3.1 基本構成

2章で述べた、統合シミュレータの概念、評価尺度へ対応するためのシミュレータ機能構成を図3.1に示す。具体的には、シミュレータの実装上の機能を大きく4つに分ける。

- (1) 地図データ管理
- (2) 交通シミュレーション
- (3) 通信シミュレーション
- (4) シミュレーション同期

地図情報システム(GIS)により現実の道路構造や基礎交通データを蓄積し、さらに基地局情報を共有する構造とする。また、種々のモデル/アルゴリズムを扱えるよう通信・交通両シミュレーションを疎結合とする。エリア毎、車群・個別車両毎の発着呼状態を元に両モジュール内に配置された基地局動作を模擬する「基地局ブリッジ」機能を持たせることで両シミュレーションを結合させる。通信・交通それぞれの時間刻みで同期を取ることにより、ITSトラフィックを総合的に評価することができる構成とする。以下、個々の機能ブロックの詳細について説明する。

#### 3.2 地図データ管理

地図データ管理部は、地図情報システム(GIS)から構成される。交通シミュレーションの基礎となる道路ネットワーク構造データ、交通データ、信号タイミングデータ、立寄り場所データ、ランドマークなどを入力・保持すると共に、交通シミュレーションと通信シミュレーションの橋渡しをする通信基地局の位置及び通信エリアデータなどの入力・保持を行う。

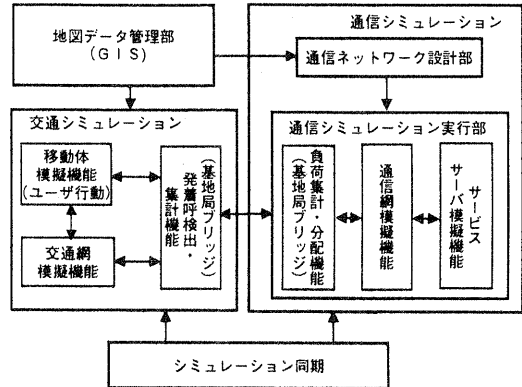


図3.1 シミュレータ機能構成

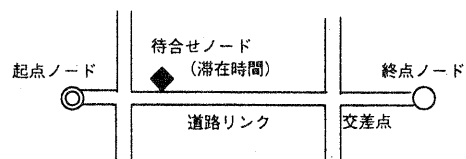


図3.2 待合せノードを含む  
ノード・リンクモデル

### 3.3 交通シミュレーション

#### 3.3.1 基本構成

交通シミュレーション部は、交通網模擬機能、移動体模擬機能、発着呼検出・集計機能から構成される。シミュレーションに必要な道路構造、基本交通量などは地図データ管理システムで設定された情報を参照する。交通網模擬機能では、道路リンク、交差点、信号機、起終点、立寄り点を模擬する。

#### 3.3.2 交通網模擬機能

交通網模擬機能では、道路リンク、交差点、信号機、起終点、立寄り点を模擬する。道路リンクはブロックに分割し、ブロック密度法[5]などにより車両密度を管理する。

物流や観光案内における交通流評価では目的地までの到着予測を行う場合に、経由地での待合せ時間が特に重要になる。そこで、交通流評価における待合せノードを組込んだノード・リンクモデルを取り込む。出発地から目的地までの間の経由地として、立寄り点である待合せノードを定義し、待合せノードでの最低滞在時間や平均滞在時間などを定義する(図3.2)。移動体模擬機能はこの待合せノードの情報を利用して、車両のルート選択・変更を行えるようにすることで、交通網における車両の時間的、空間的振る舞いをより詳細に表現することが可能になる。

### 3. 3. 3 移動体模擬機能

移動体模擬機能では、起点ノードより発生し待合せノードを経由して終点ノードへ向かって道路リンク上を走行する車両の挙動を模擬し、車両の状態を管理する。車両挙動は「ユーザ行動」の結果として捕らえ、移動体模擬機能においてユーザ行動を管理する。ユーザ行動には、路選択などの道路網の移動に関するもの、一定周期毎あるいはある条件下でのサーバアクセスなど通信発着呼に関するものがある。

ユーザ行動は「トレース車両」、「ベース車両」の2つの視点から管理する。道路リンク上を走行しシミュレーション時刻毎に位置等の車両状態及び通信状態をトレースログに記録できる車両を「トレース車両」、道路リンクブロック上のトレース車両以外の車両群を「ベース車両」として分類し、起終点での生成・消滅等を管理する。

### 3. 3. 4 発着呼検出集計機能

発着呼検出・集計機能は、交通シミュレーションにおける通信基地局のチャネル利用状況、車群及び通信機能を持ったトレース車両の発着呼状態を管理し、「基地局ブリッジ」を介して集計データや個別発着呼データを通信シミュレーション部における負荷集計・分配機能と交換する。

## 3. 4 通信シミュレーション

### 3. 4. 1 基本構成

通信シミュレーション部は大きく分けて通信ネットワーク設計部と通信シミュレーション実行部とから構成される。

通信ネットワーク設計部は、移動通信網及び固定通信網のネットワーク構成及び通信リンクの通信帯域、装置処理能力などを設定する。基地局データについては、地図データ管理部にて設定された基地局情報を参照する。

通信シミュレーション実行部は、負荷集計・分配機能、通信網模擬機能、サービスサーバ模擬機能から構成される。

### 3. 4. 2 負荷集計・分配機能

負荷集計・分配機能は基地局ブリッジにより交通系シミュレーション部の発着呼検出・集計機能が管理する基地局データと連動し、通信シミュレーション内での基地局の発着呼を管理する。また、ベース車両の通信トラヒックを監視し、ベース通信トラヒック分に相当する負荷を通信網装置にかけ、通信網内の応答時間調整を行う。

### 3. 4. 3 通信網模擬機能

通信網模擬機能は、移動体通信網及び固定通信網を構成する通信設備を模擬する。移動体通信網

部分は呼損、ハンドオーバ、無手順の通信プロトコルをサポートし、必要に応じて上位プロトコルを追加できる構成としている。固定通信網は、LAN, WAN, ATM 等をサポートし、これらのネットワークを組み合わせ、インターネットプロトコルを利用した通信網を模擬可能とする。シミュレーションに必要なネットワーク構造データは通信ネットワーク設計部で設定された情報を参照する。

### 3. 4. 4 サービスサーバ模擬機能

サービスサーバ模擬機能は、ITS サービスのロジック、例えば、ルートガイダンスなどの情報提供タイミングや、提供情報の加工のロジックを模擬する。通信パケットの内容とサーバの状態を元に、応答パケットを返すまでの処理遅延時間を変動させるほか、状況に応じて受け取った情報を元にサーバの共有情報を更新する。

### 3. 5 シミュレーション同期

シミュレーション同期機能は、通信・交通両シミュレーションの進行を連動させるための機能である。汎用のシミュレーションツール Visual SLAM[6]を利用し、両シミュレーション実行部をシミュレーションツールのプログラムモジュールとして構成する。

## 4. シミュレーションの統合化・効率化

### 4. 1 基地局ブリッジによる統合化

通信・交通両シミュレーションの結合のためには、シミュレーション同期機能のほかに、両シミュレーションに組み込まれた「基地局ブリッジ」機能が重要な役割を果たす。

これら2つの「基地局ブリッジ」機能を連動させることで、交通系において通信機能を搭載した車両の発生した発着呼情報を集計し、通信系に引き渡すことや、サーバからの応答を車両に返すことが可能になる。基地局動作の方法により、交通シミュレーション単独、通信シミュレーション単独、交通・通信統合シミュレーションをそれぞれ切り替えて行うことも可能となる。

車群の道路リンク上での発着呼状態の集計手法と基地局での集計手法とを組み合わせることで、道路リンク毎、通信エリア毎、地域毎など多様な集計が可能となる。また、集計データの通信・交通両シミュレーションでの利用方法を工夫することで、両シミュレーションの柔軟な統合化を行うことが可能となる。

### 4. 2 パケット遅延時間等価変換による効率化

交通シミュレーションでは、道路リンクのプロ

ック長を変えることにより、シミュレーション対象要素を減らすことができ、負荷軽減を行うことができる。ブロック長を大きくすると、シミュレーション精度が落ちるため、評価対象に要求される精度を考慮して変更する必要がある。

一方、通信シミュレーションでは、処理パケット数の軽減、通信設備数の減少により、シミュレーション負荷を軽減することができる。通信系シミュレーションで重要であり最も着目したいものは、個別車両の通信特性である。通信・交通両シミュレーション部にそれぞれに配置した基地局ブリッジ機能により、通信データの集計方法を工夫し、通信シミュレーションにおけるパケット処理のイベント数を減らす「パケット遅延時間等価変換」により負荷の軽減を図る。

具体的には、交通系シミュレーションにおいてベース車両として取り扱われている車群の通信トラフィックを通信系シミュレーションにおけるベース通信トラフィックとし、詳細動作をトレースしたい個別車両（トレース車両）の通信トラフィックのみ通信系シミュレーションで発生させる。ベース通信トラフィック分については、トレース車両通信トラフィックの平均遅延時間が、ベース通信トラフィックとトレース車両通信トラフィックの両方を流した場合の平均遅延時間と同じになるように通信処理装置（ネットワーク）のパラメータを調整する（図4.1）。調整のためのモデルとしては、例えば、パケットの発生間隔が指数分布、パケットの処理時間が指数分布、窓口数が1のM/M/1モデルを想定し、このモデルのサービス率と系内遅延時間の論理式を利用して発生トラフィック量が減少した場合と等価な遅延時間を与えるパラメータ値を求める。

ベース通信トラフィックの換算方法としては例えば以下の3つの方法が考えられる。

#### (1) パケット長変換法

トレース車両のパケットのみを流した時の系内待ち時間とすべてのパケットを流した時の系内待ち時間とが同じになるサービス率を求め、パケット伝送率に相当する長さのパケットに変換しなおしてパケットを再発生させる。

#### (2) サービス率低減法

パケット長変換法と同様にサービス率を求め、サービス率の変化に対応した分だけサービスレートを低減させる。これには、次の2つの方法が考えられる。

(2.1) パケット長変換法で求めたサービス率をそのまま利用する。

(2.2) トラフィック発生量の減少分を前提としたサービス率を基準とし、遅延時間が等価になるサービス率を求めその値を使用する。

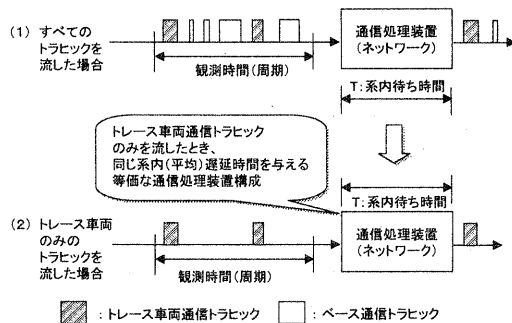


図4.1 負荷軽減の考え方

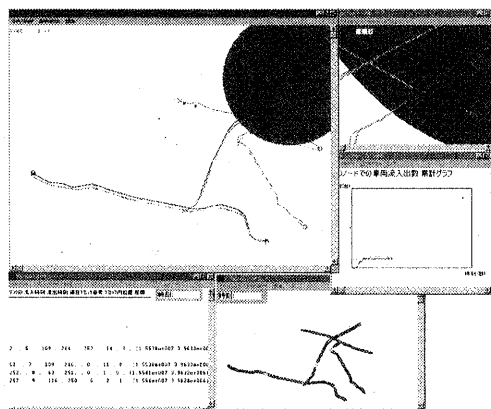


図5.1 シミュレーション動作例

### (3) サービス率変動法

サービス率（パケット伝送率）をベーストラフィック量に応じて指数分布で変化させる。

## 5. シミュレーション評価

### 5.1 シミュレーション動作例

図5.1に交通シミュレーション例を示す。道路リンクブロックの車両密度に応じて色を変え、混雑状況の概要を直感的に捕らえられるようにしている。トレース車両については道路リンク上にアイコン表示し、位置と発呼状態が分かるようにしている。画面右上の円は基地局のエリアを示しており、通信機能を持った車両はエリア内に入ると通信が可能になる。基地局ブリッジ機能はエリア内の通信状況を把握し、通信シミュレーションとの連携を図る。

### 5.2 基本性能評価

表5.1にアニメーション表示を行わず通信・交通それぞれの基本機能のみを動作させたときの基本性能を表すデータを示す。

この結果より、5分間の交通シミュレーション

実行時間が 0.135 秒、一回の発呼処理時間が 0.051 秒であるので、例えば、

- (1)発生台数内の 50%の車両が通信を行う。
  - (2)車両が 13 のブロック通過中に 1 回発呼する。
  - (3)5 分間 (300 秒) のシミュレーションを行う。
- という前提を置くと、

$$0.135 + (2700 \times 0.5) \times 0.051 = 68.985 \text{ 秒}$$

程度シミュレーション実行時間がかかる。

これは、実時間(300 秒)の約 4 分の 1 以下の処理時間であり、リアルタイムにシミュレーションを行うには、上記前提の 4 倍程度の規模まで対応可能である。

### 5. 3 負荷軽減通信モデルの精度と適用効果

4. 2 章において説明したパケット遅延時間等価変換手法のうち、パケット長変換法、サービス率低下法について、負荷率を 0.1 から 0.9 まで変化させ遅延時間のシミュレーションを行った結果を図 5. 2 に示す。理論値は、M/M/1 モデルにおける遅延時間である。パケット長変換法は理論値に良くあっている。サービス率低下法については、負荷率が高くなると遅延時間が短めになる傾向がある。中程度の負荷までならばどちらの手法も適用可能と考えられる。

仮に 5. 2 章で説明した条件で、通信車両の 80%をベース通信トラフィック車両、残りの 20%をトレース車両とし個々の挙動を観測する場合には、

$$0.135 + (2700 \times 0.5 \times 0.2) \times 0.051 = 13.905 \text{ 秒}$$

程度のシミュレーション時間を要することになる。パケット遅延時間等価変換を行わない場合に比べ、同じ実行時間あたり、約 5 倍の規模のシミュレーションを行うことができる。

このように、基地局ブリッジ機能を用い、通信シミュレーションでの集計データ利用法を工夫することで、本シミュレータの適用領域を広げることが可能となる。

### 6. むすび

本稿では ITS システムを通信・交通の両面から評価するためのシミュレーションモデルを提案し、評価尺度、シミュレーションの効率化・適用性について論じた。本シミュレータは基地局ブリッジ機能を利用し集計データを工夫することで ITS サービスの特徴に合わせながら効率的なシミュレーションを行うことができるため、通信・交通を複合的に評価するための新しい評価尺度の検討に適していると考えられる。今後、このモデルにより ITS 各種システム及びサービスの詳細評価を進める予定である。

表 5.1 シミュレータ基本性能

交通シミュレーション		通信シミュレーション	
総ブロック数	13	発呼数	1000
流入ブロック数	2	処理プロセス数	10000
発生車両台数	2700	シミュレーション時間	48 分
シミュレーション時間	5 分		
実行時間(秒)	0.135	実行時間(秒)	51
		(秒/呼)	0.051

(CPU: Intel Pentium III 700MHz 程度の処理能力の場合)

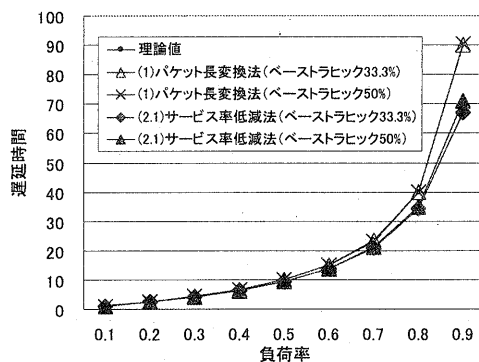


図 5. 2 パケット等価遅延時間等価変換の精度

謝辞

本研究を進めるにあたり、活発な議論、有益なご助言を頂いた NTT サービスインテグレーション基盤研究所岡田和比古所長、吉開範章プロジェクトマネージャ、渡邊茂道社員に感謝いたします。

参考文献

- [1] 堀口良太、永田尚人、「シミュレーションを用いた料金所 ETC 化による容量改善効果の検討」、第 23 回日本道路会議・一般論文集 (A)・ITS 部会、pp.314-315,1999
- [2] 吉井稔雄、「やさしい交通シミュレーション 9. シミュレーション技術総覧、予測情報提供効果について」、交通工学研究会、Vol 33.No6,pp65-69,1998.11
- [3] Moshe Ben-Akiva, Michel Bierlaire, Haris N. Koutsopoulos and Rabi Mishalani "DynaMIT: a simulation-based system for traffic prediction and guidance generation", TRISTAN III, San Juan, Porto Rico, June 1998.
- [4] 澤村誉他、「1 対 1 通信を用いた交通情報収集・提供サービスの通信トラフィックに関する検討」、1999 電子情報通信学会総合大会、SID-2-2,pp.407-408,1999
- [5] 堀口他、「ハイブリッドブロック密度法を用いた都市街路網の交通流シミュレータの開発」、AVENUE」、土木学会第 49 回年次学術講演会第 IV 部門論文集、1994.
- [6] Pritsker, A.A.B., J.J.O'Reilly, D.K.VaVal, Simulation with Visual SLAM and Awesim, Systems Publishing and John Wiley, 1997.