

テーマパーク問題における 予定情報共有システムの提案と有効性の検証

今川 孝博^{†,††} 川村 秀憲^{†,††} 車谷 浩一^{†††,††} 大内 東^{†,††}

† 北海道大学大学院情報科学研究科
†† 科学技術振興機構,CREST
††† 産業技術総合研究所

あらまし 近年の携帯型通信技術の発展に伴い、現在「いつでも、どこでも、何でも、誰とでも」つながるユビキタスネットワーク環境が整備されつつある。このような環境においては、個人の利便性の向上だけでなく、多くのユーザからなる社会全体の利便性向上を目的とした「群ユーザ支援」が可能になる。本稿では、各ユーザから行動予定を受け取って混雑状況を予測し、各ユーザに情報として提供するという予定情報共有システムを提案し、混雑が発生するような状況においてユーザの行動選択戦略が混雑緩和へ作用し、全体として各ユーザの時間効率、資源の利用効率の向上を期待する。また提案システムをテーマパーク問題に適用し、混雑緩和に対する有効性について検証する。

キーワード 混雑緩和、群ユーザ支援、テーマパーク問題、マルチエージェント

Schedule-sharing System for Congestion Reduction in Theme Park Problem

Takahiro IMAKAWA^{†,††}, Hidenori KAWAMURA^{†,††}, Koichi KURUMATANI^{†††,††}, and Azuma OHUCHI^{†,††}

† Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University
†† CREST, Japan Science and Technology Agency
††† National Institute of Advanced Industrial Science and Technology(AIST)

Abstract Recently ubiquitous environment is being realized with the development of ICT (Information Communications Technology). The ubiquitous environment realizes a new type of supports called mass user support. In this paper, we proposed schedule-sharing system for congestion reduction, and apply to model of theme park problem. As the result, numerical experiment verified that the proposed system can decrease staying time in the theme park of whole visitor.

Key words Congestion Reduction, Mass User Support, Theme Park Problem, multi-agent

1. はじめに

近年の携帯電話を始めとする携帯型通信端末の発達や、無線 LAN に代表される近接通信を利用したネットワークの整備に伴い、ユビキタス環境が実現すると言われている。「ユビキタス (ubiquitous)」の語源はラテン語で、「至る所に存在する (遍在する)」という意味であり、ユビキタス環境とは「いつでも、どこでも、何とでも、誰とでも」つながるユビキタスネットワークが整備された環境を指す。我が国においても 2010 年を目途としてユビキタス社会の実現を目指し、「ユビキタスネットワーク整備」、「ICT(Information and Communications Technology, 情報通信技術) 利活用高度化」、「利用環境

整備」を軸とした政策を展開している。このようなユビキタス環境においては、リアルタイムな情報提示が可能となり、道路交通ナビゲーションシステムの実現や宿泊施設・旅客機の予約、家電製品の遠隔操作などが、手軽に、かつ容易に可能になるとされ、ユビキタス環境の整備によって実現するユーザ支援は人々の生活をより便利なものに変えるであろうと考えられている。

しかし、ユビキタス環境の実現は個人の利便性の向上のみにはとどまらない。ユビキタス環境の実現によって、多数のユーザ間で相互に同時に情報を送受信することで、多数のユーザからなる社会全体の利便性を向上させるようなユーザ支援の可能性が期待されている。このような多数のユーザ間での譲り合い、合意形成を実現を目的と

したユーザ支援を群ユーザ支援と呼ぶ。[1].

群ユーザ支援は、多数のユーザが存在する状況下において、各ユーザの効用を増大させるようなサービスを実現しても、他のユーザ、ひいては全体の効用が減少しないようなサービスの実現を目指している。例えば交通や、テーマパーク、レストラン、駐車場など複数の施設が存在する環境下で、数箇所に多くのユーザが偏るような状況においては、群ユーザ支援により偏りを分散させることで、施設全体での利用効率の増加や、各ユーザの待ち時間の減少といった効果が期待できる。このように群ユーザ支援のアプリケーションのひとつとして、現在、道路交通における渋滞やテーマパークやイベント会場における混雑といった輻輳の緩和が特に期待されている[2]。輻輳が発生する要因のひとつとしては、ユーザ間の同期が選択を迫られた多数のユーザが同時に同対象を選択してしまう同期の存在がある。同期はユーザの嗜好や選択、テーマパークやイベント会場、道路交通などの環境の特性の違いなどに起因し、ユーザ個人の努力で解決できる問題ではない。

本稿では、複数の施設（アトラクション）からなるテーマパークを多数のエージェント（visitor）が訪問するテーマパーク問題において、visitor が行動予定を通知し、アトラクションが混雑状況の予測情報を提供するというインタラクティブな情報相互交換を提供する予定情報共有システムを適用し、visitor がアトラクションから受ける情報を用いてテーマパークにおける滞在時間を最小にしようという訪問予定アトラクションの選択が混雑緩和へ作用し、全体として各 visitor の時間効率、および資源利用効率の向上を期待する。

2. テーマパーク問題

テーマパーク問題は、複数の施設（アトラクション）や施設間を結ぶ道路からなるテーマパーク内を多数のエージェント（visitor）が訪問するとき、visitor の訪問スケジュールを調整することで、visitor 全体の満足度の最大化を目的とする問題であり、混雑状況・同期発生について検証が可能な待ち行列理論に基づくモデルである[3].

テーマパーク問題では時間は離散的に定義され、アトラクション集合 A 、visitor 集合 V がそれぞれ $A = \{a_i | i = 1, 2, \dots, M\}$ 、 $V = \{v_j | j = 1, 2, \dots, N\}$ と定義される。

テーマパークのアトラクション a_i にはキャパシティ $capacity_i$ 、サービス時間 $servicetime_i$ が設定されている。キャパシティ $capacity_i$ は、アトラクション a_i で一度にサービスを受けることができる visitor の最大数であり、アトラクションを訪れる visitor の数がこの値を超える場合、超えた分の visitor はアトラクションの待ち行列

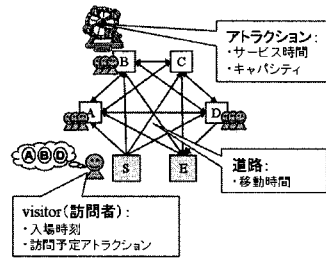


図 1 テーマパーク問題の構成要素

に並ぶことになる。また、サービス時間 $servicetime_i$ は visitor がアトラクション a_i でサービスを受け終わるまでに要する時間である。

visitor v_j には、テーマパークの入場時刻 $starttime_j$ 、訪問予定アトラクション集合 $MVA_j (\subseteq A)$ が設定されている。visitor v_j は入場時刻 $starttime_j$ にテーマパークの入口を訪れる。visitor の目的はできるだけ短い滞在時間で、すべての訪問予定アトラクションを訪問し、テーマパークの出口へ向かうことである。

テーマパーク問題を構成する要素の概要を図 1 に示す。

3. 予定情報共有システム

テーマパークにおける混雑を緩和するため、先行研究では visitor にアトラクションの混雑状況を情報として提示し、混雑を回避させる手法の検証がなされてきた[4][5][6]. 本研究では、visitor が訪問予定アトラクション集合の訪問する順序（プラン）を作成して訪問予定のアトラクションに到着予定時刻を通知し、到着予定時刻を受けとったアトラクションがサービス終了予定時刻を計算して visitor に通知するという予定情報共有システムを導入する。

このシステムの役割は、できるだけ短い滞在時間で訪問アトラクションを訪れたい visitor に、アトラクションがサービスの終了予定時刻を提供することで、テーマパークの滞在時間を予測させ、より良いプランを選択させる一方、訪問するアトラクションの訪問予定時刻を visitor から受け取ることで、より精度の高いアトラクションの混雑予測を行うことである。すなわち提案システムは、visitor-アトラクション間の情報相互提供によって、visitor による行動選択戦略が混雑緩和へ働くことを期待し、visitor 全体の時間効率や、アトラクション利用率の向上を目的とする。以下、予定情報共有システムの詳細について述べる。

3.1 訪問予定時刻、サービス終了予定時刻

訪問予定時刻とは、visitor がアトラクションを訪れる予定の時刻であり、visitor が訪問予定のアトラクション

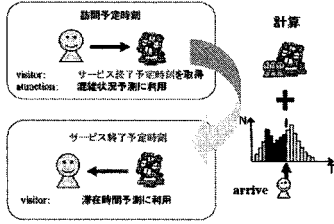


図2 訪問予定時刻とサービス終了予定時刻

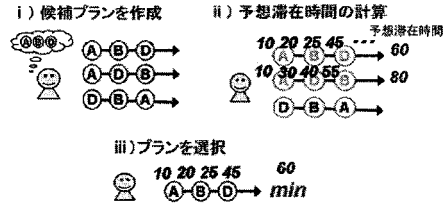


図3 プランの作成・選択

に通知する。サービス終了予定時刻とは、visitor がアトラクションでサービスを受け終えて、アトラクションを退出する予定の時刻であり、visitor から訪問予定時刻を受け取ったアトラクションが、現在のアトラクションの混雑状況（待ち行列長）と、これまで受け取った他の visitor からの訪問予定時刻から算出し、visitor に通知する。

visitor がアトラクションに訪問予定時刻を通知する利点は、通知することでサービス終了予定時刻を受け取り、テーマパークにおける滞在時間を予測し、滞在時間がより短くなるようなプラン選択が可能になることである。また、アトラクションは visitor から訪問予定時刻を受け取ることで、アトラクションの混雑状況の予測に用いるという利点がある。

訪問予定時刻、サービス終了予定時刻を図2に示す。

3.2 プラン

プランとは、visitor の訪問予定アトラクションに順序をもたせたもの、すなわちアトラクションの訪問順序であり、visitor はアトラクションの選択にプランを利用する。visitor v_j のプラン $plan_j$ は、

$$plan_j = (a_1, a_2, \dots, a_k, \dots, a_{M_j}) \quad (1)$$

と表される。ただし、 a_k は visitor v_j の訪問アトラクション、 k は訪問する順番、 M_j は訪問予定アトラクション数であり、訪問予定アトラクションに重複は無い ($\forall l, m \ a_l \neq a_m (l \neq m)$) とする。

visitor は、滞在時間がより短くなるようなプランを選択するため、以下の動作をテーマパークに滞在している各時刻で行なう。ただし、アトラクションでサービスを受けている間を除く。

- (1) 候補プラン作成
- (2) 予想滞在時間の計算
- (3) プラン選択

候補プラン作成とは、訪問予定アトラクションから、いくつかの候補となるプランを作成することである。ここでは、訪問予定アトラクションからランダムに順序付けしたものを複数作成し、候補プランとすることにする。

予想滞在時間の計算とは、前の段階で作成した候補プ

ランに対して、テーマパークにおける予想滞在時間を計算することであり、具体的には、候補プランのアトラクションの順序に従って

- アトラクションに訪問予定時刻を通知
- サービス終了予定時刻を受け取る
- 道路の移動時間を加算

という処理を、出口まで繰り返すことで計算する。

プラン選択とは、候補プランの中から予想滞在時間が最小となるプランを選択することであり、選択したプランのアトラクションの順序に従って訪問予定時刻を通知する。通知を受けた各アトラクションは訪問予定時刻を混雑状況の予測に用いる。

候補プラン作成から選択までの流れを図3に示す。

visitor v_j が $plan_j$ を選択した際に、アトラクションに通知する訪問予定時刻 $arrivetime_{jk}$ 、サービス終了予定時刻 $finishtime_{jk}$ は次のように計算される。

$$arrivetime_{jk} = finishtime_{j,k-1} + MoveTime_j(2)$$

$$finishtime_{jk} = arrivetime_{jk} + ServiceTime_j(3)$$

ただし、 k は visitor が訪問する順番、 $MoveTime_j$ はアトラクションへ到着するまでの visitor v_j の移動時間であり、 $ServiceTime_j$ は visitor v_j のアトラクションでの所要時間、すなわち、サービス時間と待ち時間の和である。 $MoveTime_j$ は道路の移動時間と移動状況によって、 $ServiceTime_j$ はアトラクションのサービス時間と混雑状況によって値は変化する。なお、最初に訪問するアトラクションの訪問予定時刻 $arrivetime_{j1}$ は単純にアトラクションまでの移動時間となる。すなわち、 $arrivetime_{j1} = MoveTime_j$ である。

4. システム評価

visitor が訪問アトラクションを選択する際の選択手法として、プランに基づくアトラクション選択を提案したが、本研究の予定情報共有システムの効果を検証するため、他のアトラクション選択の方法を導入し、プランに基づくアトラクション選択との比較を行なう。visitor の訪問予定アトラクションの選択方法は、前述したプラン

に基づく選択の他に、ランダムによる選択、混雑情報を利用した選択の2つの選択方法を用いる。ランダムによる選択とは、visitorの訪問予定アトラクションの中からランダムに、次のアトラクションを選択する方法であり、最も単純な選択法である。

混雑情報を利用した選択とは、visitorの訪問予定アトラクションの中から混雑情報が最小のものを、次のアトラクションとして選択する方法である。ここで、アトラクション*i*の混雑情報 $info_i$ とは、

$$info_i = waitingnum_i \times servicetime_i / capacity_i \quad (4)$$

であり、 $waitingnum_i$ は待ち行列に並んでいるvisitorの数、 $servicetime_i$ はサービス時間、 $capacity_i$ はキャパシティである。混雑情報が最小のアトラクションとは、すなわち最も空いているアトラクションを意味する。

結果の比較に用いる指標は、全visitorのテーマパークにおける滞在時間の平均 $Eval = \frac{1}{N} \sum_j^N StayTime_j$ とする。ただし、 N はvisitor数、 $StayTime_j$ はvisitor v_j のテーマパークにおける滞在時間である。

5. 実験

5.1 実験設定

本研究で行った実験設定について述べる。テーマパークにおけるアトラクション、visitorのパラメータに関しては、表1に示すとおり、visitorの入場時刻はポアソン分布に従うものとし、また、アトラクション数 M 、visitor数 N 、訪問予定アトラクション数 M_j 以外の値は固定として実験を行なった。ここで、これらの値を変化させる理由は、アトラクション数 M 、visitor数 N 、訪問予定アトラクション数 M_j の違いがアトラクションの混雑状況に変化を与えることを期待するもので、そのような混雑状況の変化に対し、visitorの各アトラクション選択手法がどのように影響するかを検証するためである。

visitorのアトラクション選択方法に関して、混雑情報を利用する選択方法においては、全visitorが混雑情報を利用するものとし、プランに基づく選択方法において、visitorが各時刻で作成する候補プラン数は10とした。

また、実験は数試行繰り返し、各選択方法の結果を試行回数分の平均 $Eval_{ave}$ で評価する。

$$Eval_{ave} = \frac{1}{trial} \sum^{trial} Eval \quad (5)$$

ここでは、試行回数 $trial = 50$ として、visitorのアトラクション選択手法を比較した。

5.2 実験1

まず実験1として、アトラクション数 M 、訪問アトラクション数 M_j の違いによる影響を検証するために、表2, 3のようにパラメータを設定し、visitor数 N を固定

表1 パラメータ設定

アトラクション数	M
サービス時間	10
キャパシティ	5
道路の移動時間	10
visitor数	N
入場時刻	到着率 λ に基づく
訪問予定アトラクション数	$M_j (< M)$
到着率 λ	3.0

表2 実験1a設定

visitor数 N	100		
アトラクション数 M	4	4	8
訪問予定アトラクション数 M_j	2	4	5

表3 実験1b設定

visitor数 N	300		
アトラクション数 M	4	4	8
訪問予定アトラクション数 M_j	2	4	5

表4 実験1a (visitor数 $N=100$) 結果

選択方法	$M=4, M_j=2$	$M=4, M_j=4$	$M=8, M_j=5$
ランダム	84.75	172.02	138.96
混雑情報利用	84.54	171.22	142.72
プラン利用	80.39	166.28	133.71

表5 実験1b (visitor数 $N=300$) 結果

選択方法	$M=4, M_j=2$	$M=4, M_j=4$	$M=8, M_j=5$
ランダム	162.43	425.74	274.02
混雑情報利用	163.65	426.15	275.76
プラン利用	158.68	413.37	265.75

して、アトラクション数 M 、visitorの訪問予定アトラクション数 M_j を変化させた実験を行なった。それぞれの結果を表4, 5に、グラフを図4, 5に示す。

グラフの横軸の2つの数値は、それぞれ訪問予定アトラクション数/アトラクション数を表しており、縦軸は評価値 $Eval_{ave}$ である。棒グラフは左からアトラクションをランダムによる選択方法、混雑情報を利用した選択方法、そして、プランを用いた提案手法による結果であり、グラフ中の error bar は結果の標準偏差を表している。

これらの結果から、まずランダムによる選択方法の結果と混雑情報を利用した選択方法の結果に有意な差が見られないことが見てとれる。これは、混雑情報を利用した選択方法の場合、全てのvisitorが空いているアトラクションを選択してしまうという同期の発生によるものであり、visitor数 $N = 300$ の場合においては、ランダムによる選択方法よりも悪い結果となっている。

次に、訪問予定アトラクション数 $M_j = 4$ 、アトラクション数 $M = 4$ の場合の結果と、 $M_j = 5$ 、 $M = 8$ の場合の結果とを比較すると、どの選択方法においても前者の方が、visitorの訪問するアトラクション数が少ないに

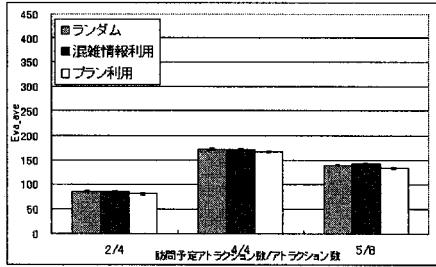


図4 実験 1a (visitor 数 N=100) 結果

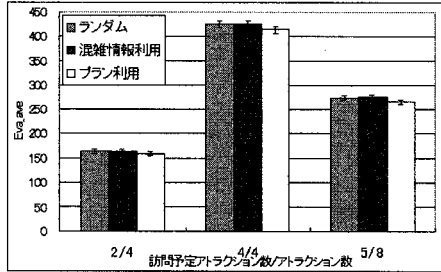


図5 実験 1b (visitor 数 N=300) 結果

表6 実験 2a 設定

visitor 数 N	100	200	300
アトラクション数 M	8		
訪問予定アトラクション数 M_j	5		

表7 実験 2b 設定

visitor 数 N	100	200	300
アトラクション数 M	4		
訪問予定アトラクション数 M_j	4		

も関わらず、滞在時間平均がより長くなっていることが見てとれる。これは、visitor が訪問する予定のアトラクションが他の visitor と競合し、同期が発生しているためと考えられ、全てのアトラクションを訪問しなくてはならない $M_j = 4$, $M = 4$ の場合の方が、より混雑が発生しやすい状況であるといえる。

そしてどの場合においても、プランを用いた選択方法による評価値が他の選択方法のものよりも低くなっていることが見てとれる。これは、ランダムによる選択や、同期が発生してしまう場合における混雑情報利用による選択方法よりも、提案手法が良い結果であることを意味する。

5.3 実験 2

次に実験 2 として、visitor 数の違いによる影響を検証するために、表 6, 7 のようにパラメータを設定し、アトラクション数 M 、訪問アトラクション数 M_j を固定して、visitor 数 N を変化させた実験を行なった。それぞれの結果を表 8, 9 に、グラフを図 6, 7 に示す。

グラフに関して実験 1 のと異なるのは、グラフの横軸

表8 実験 2a ($M = 8, M_j = 5$) 結果

選択方法	$N = 100$	$N = 200$	$N = 300$
ランダム	138.85	203.96	274.02
混雑情報利用	142.72	203.93	275.76
プラン利用	133.71	196.68	265.75

表9 実験 2b ($M = 4, M_j = 4$) の結果

選択方法	$N = 100$	$N = 200$	$N = 300$
ランダム	172.02	300.52	425.74
混雑情報利用	171.22	299.79	426.15
プラン利用	166.28	290.38	413.37

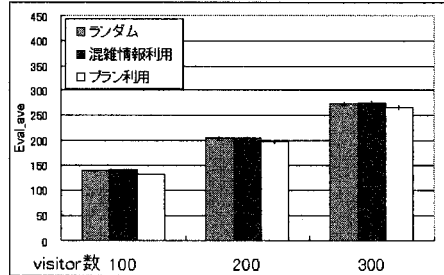


図6 実験 2a ($M = 8, M_j = 5$) 結果

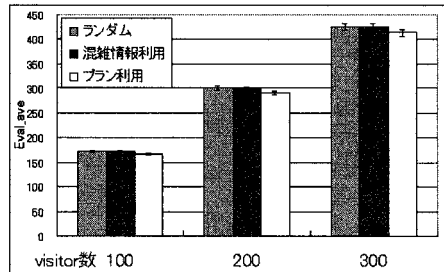


図7 実験 2b ($M = 4, M_j = 4$) 結果

が visitor 数になっている点である。

これらの結果からも、ランダムによる選択方法の結果と混雑情報を利用した選択方法の結果に差が見られないことがわかる。また、visitor 数 N が増加するにつれて、訪問予定アトラクション $M_j = 4$ 、アトラクション数 $M = 4$ の場合の滞在時間が $M_j = 5$, $M = 8$ に比べ、より長くなっていることが確認できる。

そして実験 1 同様に、どの場合においても、プランを用いた選択方法による結果が他の選択方法のものよりも低くなっていることが見てとれ、このことから、プランを用いた選択方法、すなわち予定情報の共有により、全 visitor の総滞在時間が少なくともランダムによる選択方法よりも良い結果になることが確認できる。

6. 考 察

結果の考察として、予定情報共有システムにおける、

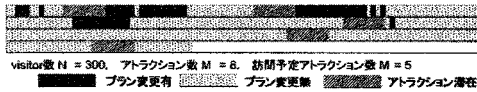


図 8 プラン変更の頻度 $M = 8$, $M_j = 5$ の場合



図 9 プラン変更の頻度 $M = 4$, $M_j = 4$ の場合

テーマパークに滞在している間の visitor のプラン変更の頻度を調査した。図 8, 9 はテーマパークに 100 番目に入場する visitor のプラン変更の頻度を示したものである。図 8 は、アトラクション数 $M = 8$ 、訪問予定アトラクション数 $M_j = 5$ 、図 9 は、 $M = 4$ 、 $M_j = 4$ のときのプラン変更の頻度を示した図である。これらの図は、visitor がテーマパークへ入場してから退場するまでの時刻 t ごとの visitor の 3 つの状態、アトラクションでサービスを受けているか、プランを変更したか、プランを変更していないかを濃淡で示しており、一番濃い状態が、プランを変更しているステップ、一番薄い状態が、プランを変更していないステップ、濃度が中程度の状態が、アトラクションにいるステップを表す。時間は左から右へ流れる複数の帯で表しており、1 つの帯で 100 ステップとなる。例えば、一番上の帯は 1 から 100 ステップまで、二番目の帯は 101 から 200 ステップの状態を表しており、図 8 は 4 つの帯で 400 ステップ、図 9 は 4 つの帯で 500 ステップまでの状態を示していることになる。

これらから、visitor のプランの変更はテーマパークに入場してからの初期段階に集中しており、後半ではプラン変更はされていないことが見てとれる。これは、visitor の訪問予定アトラクション数が時間経過とともに減少しているということも 1 つの要因であるが、滞在時間が最小となるプランに変更してから他のプランに変更されない、すなわち、visitor のプランが収束した状態になっていると考えることができ、少なくともこの visitor のプランの更新は他の visitor に影響されず、安定していると判断できる。

7. おわりに

本研究では、テーマパークや道路交通などで発生する混雑の緩和を目的として、ユーザがあらかじめ行動予定を通知し、その行動予定から環境側が混雑状況の予測情報を提供するというインタラクティブに情報を相互提供をする予定情報共有システムを提案し、テーマパーク問題に適用して混雑緩和に対する効果について検証した。

その結果、予定情報共有システムを利用したプランに

基づくアトラクションの選択が visitor がランダムに選択する場合や、混雑状況を利用して選択する場合よりも、全 visitor の総滞在時間が短くなることがわかった。これは、visitor がアトラクションの現在の混雑状況の情報を利用したために発生した visitor 間の同期が、本システムを用いた場合においては、visitor が行動予定をシステムに通知して、アトラクション側から未来の混雑状況の情報を受け取って自らの行動を決定し、アトラクション側が visitor から通知される行動予定から混雑状況をさらに予測するといった情報相互提供によって、抑えられているためであると考えられる。

謝 辞

本研究の一部は、科学技術振興機構 (JST) の戦略的基礎研究推進事業 (CREST) における研究領域「先進的統合センシング技術」の研究課題「安全と利便性を両立した空間見守りシステム」の支援による。

文 献

- [1] Koichi Kurumatani: "User Intention Market for Multi-Agent Navigation - An Artificial Intelligent Problem in Engineering and Economic Context", Proceedings of the AAAI02 Workshop on Multi-Agent Modeling and Simulation of Economic Systems, MAMSES2002, Technical Report WS-02-10, AAAI Press pp.1-4 (2002).
- [2] Tomohisa Yamshita, Kiyoshi Izumi, and Koichi Kurumatani: "Effect of Using Route Information Sharing to Reduce Traffic Congestion. Multi-Agent for Mass User Support", International Workshop, MAMUS Acapulco, Mexico, August 10, 2003 Revised and Invited Papers pp.86-104(2003).
- [3] 川村秀憲, 車谷浩一, 大内東: "テーマパーク問題の提案と調整アルゴリズムに関する検討 ~ユビキタス環境における群ユーザ支援の実現へ向けて~", 情報処理学会研究会報告, Vol.2003, No.39, 2003-UBI-1, pp.57-64 (2003).
- [4] Hidenori Kawamura, Takashi Kataoka, Koichi Kurumatani, and Azuma Ohuchi: "Investigation of Global Performance Effected by Congestion Avoidance Behavior in Theme Park Problem", Proceedings of 2003 Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems: Technology and Applications, Kitakyusyu Japan, pp.63-70 (2003).
- [5] Takashi Kataoka, Hidenori Kawamura, Koichi Kurumatani, and Azuma Ohuchi: "Distributed Visitors Coordination System in Theme Park", First International Workshop, MMAS 2004, Kyoto Japan, Revised Selected and Invited Papers, pp.335-349 (2004).
- [6] Takashi Kataoka, Hidenori Kawamura, Koichi Kurumatani, and Azuma Ohuchi: "Effect of Congestion Reduction with Agent's Coordination in Theme Park Problem", Proceedings of 4th IEEE International Workshop WSTST's 05(Soft Computing as Transdisciplinary Science and Technology), pp.245-254 (2005).