

# User-in-the-loop Forecasting によるテーマパーク問題の負荷分散

## Load Balancing in Theme Park Problem with User-in-the-loop Forecasting

川村 秀憲<sup>\*1\*3\*4</sup>  
Hidenori Kawamura

車谷 浩一<sup>\*2\*3</sup>  
Koichi Kurumatani

大内 東<sup>\*1\*3</sup>  
Azuma Ohuchi

<sup>\*1</sup> 北海道大学 <sup>\*2</sup> 産業技術総合研究所 <sup>\*3</sup>CREST, 科学技術振興機構 <sup>\*4</sup> 日本学術振興会  
Hokkaido Univ. AIST CREST, JST JSPS

In this paper, we described theme park problem and user-in-the-loop forecasting coordination algorithm based on the concept of mass-user support.

### 1. 初めに

社会生活における人々の活動の多くは社会に配置された様々なインフラを共用することの連続で成り立っている。例えば、公共交通においては、自動車単位で利用される道路や駐車場ばかりではなく、レンタカーや電車、地下鉄、バス、タクシー、航空機など乗り物そのものもインフラとして利用されている。都市生活においては、病院・診療所、公共窓口、遊戯施設、店舗、飲食店などといったサービスを提供する多くのインフラが人々の活動の中で共用されている。また、情報技術においては、増大し続けるトラフィックがインターネットにおける帯域やサーバ等を共用し、さらに、工業製品の生産においても、個々の製品が完成するまでにサプライチェーンでモデル化されるように多くの工場やラインを共有している。

世界を取り巻く社会的・経済的情勢や人口問題、環境問題、医療問題などを鑑みるに、これらのインフラの利用効率を最大化し、社会活動の質を全く落とすことなく省資源化・ダウンサイジングを進めていくことは、現代社会を持続可能なものとして維持していくために必要不可欠である。しかし、社会生活におけるインフラの利用形態においては、全体の効率化・省資源化を目的として個々の行動における・制限したり、個々に行動原理を押しつけたりすることは出来なく、あくまで個々の行動原理を強制しない形で実現される社会の延長線上においてそれらを追求していかなければならない。今まで発展・利用されてきたインフラの限界点を越えてその利用効率を高めるためには、通信・情報技術を利用した革新的なアイデアを開発していくことが必要である。ここでは、インフラの共用とその利用効率の最大化へ向けて、インフラ共用のモデル化とその効率的利用技術について焦点をあてる。著者等はこのようなアイデアを群ユーザ支援と呼び[Kurumatani04]、情報技術の革新的なアイデアの一つと位置づけている。

ここで焦点を当てる社会に配置されたインフラの多くは無限量のキャパシティを持つことは出来ないため、連続的に発生する需要に対して何らかの優先順位をつけ、その順位に従って順に処理していくことで成り立っている。例えば、キャパシティが小さく貴重なサービスを提供するインフラの場合は事前予約による優先順位の調整が行われ、また多くの一般的なインフラは訪れた順に利用を開始する First-come-first-served のルールに従って運用される。

これらインフラのキャパシティが有限であると、時間的な変動の中で需要がキャパシティを越える場合がしばしば生じる。その際、渋滞、混雑、輻輳、待ち行列といったものが発生し、インフ

ラ利用者はサービスを享受できるまでに待ち時間を過ごすことが強要される。このような状況は、利用者の立場から見て無駄な時間を生じているだけではなく、インフラ運用の立場から見ても機会ロスやキャパシティの非効率的利用を招くので望ましくなく、それらを解決することは重要な課題の一つである。

そこで、高速道路の料金所数や銀行の窓口数など、リアルタイムにキャパシティを調整することが可能である場合もあるが、多くのインフラのキャパシティはリアルタイムに調整することが困難であり、設計の際に事前に設定されたまま運用されることとなる。道路利用料におけるロードプライシングや航空券の価格設定などのように、価格による需要の外部的制御も不可能ではないが、提供されるサービスが同一であったり、公共的な性格が強かったりする場合は、混雑回避のためにそのような制御を行うことがなじまない場合も多い。

一方、インフラ利用者を単位とした行動で考える際、個々は自分の希望・制約条件を満たしつつも混雑を回避するなど、インフラ利用計画の最適化を目指すことを基本的な行動原理として想定できる。工場ラインの最適化や、配送経路計画など、全体のインフラ利用効率を最適化することを優先的な目的として設定でき、そのために個々の利用者の活動を制御できる場合、オペレーションズ・リサーチの分野でモデル化とその最適化が研究されてきた。しかし、ここで焦点を当てている様に、個々の行動原理にもとづいて独自に行動を決定する利用者の集合として構成されるシステムの場合、たとえそれが全体の効率化に貢献するとしても、個々の活動に立ち入ってそれを制御することは困難である。例えば、いくら環境に配慮し渋滞を抑制するためだったとしても、自動車の発車時間や運転経路を個人に強制することは通常許されない。

従って、これら社会的に共用されているインフラの利用形態の現状は、個々の利用者の独自判断の結果をより集めたものとして運用されているとして理解する必要がある。個々の情報収集能力と最適化能力が最大である場合、インフラ共用において達成される利用者行動の均衡点が社会的に安定的・効率的である場合の条件について、経済学や交通工学の分野で研究されてきたが、カーナビと VICS が便利に利用されている現状からもわかるとおり、実際の利用者の情報収集能力と最適化能力は一都市のなかで最適な運転ルートを決めることもままならない。従って、まずは利用者の能力不足からくる混雑を解消するため、通信・情報技術を利用することで利用者の情報収集能力と最適化能力をサポートすることを考える。

本論文では、不特定多数のユーザが利用するインフラ資源の利用モデルの一つであるテーマパーク問題について述べ、それぞれユーザが個々の行動最適化にもとづかなかで、未来のインフラ利用の時間的コストを正しく見積もることに焦点を当てる。そして、ユーザの最適化過程と不確実性を含む将来のコストの

見積もりを正しくフィードバックさせる user-in-the-loop forecasting のアイデアについて述べる。

## 2. テーマパーク問題

テーマパーク問題はテーマパークを訪れるユーザがアトラクションを相互利用するときに、同じサービスを受ける前提のもと利用時間の平均を如何に最小化するかという問題である [kawamura04, kataoka05]。以下に概要を述べる。

まず、テーマパークは、入口、出口、複数のアトラクションを連結したネットワークとして表現される。連結は、ユーザがそれぞれを遷移可能であることを表す。各アトラクションにはキャパシティとサービス時間が存在する。アトラクションに到着したユーザは到着順に待ち行列に並ぶ。アトラクションのキャパシティに余裕がある場合には直ちにサービスを受けることができるが、アトラクションがキャパシティ一杯にサービスを提供している場合は、先行するユーザのサービス終了を待つことになる。各ユーザは、サービス時間分だけサービスを受け、終了後にアトラクションを後にする。

各ユーザは、入り口から出発し、いくつかのアトラクションを訪問しなければならないという制約を持ってテーマパークを訪れる。終了後は出口から出て行く。自由度は、決められたアトラクションをどのような順番で訪れるかであり、行動の目的は自己の利用時間の最小化である。ただし、アトラクションは相互利用され、将来的な待ち時間は予測困難であるので、最小化をどう実現するかそのものがテーマパーク問題の課題である。同じ制約の下でも、それぞれのアトラクションの訪問順序によって、利用時間の平均は異なってくる。

テーマパーク問題は、マクロな立場から利用者全体の利用時間の平均を最小化したいという目的をもつが、ユーザによるミクロな立場からは、自分の利用時間最小化の理にかなった最適化の方法を実現しなければならない。また、ユーザは時間の経過とともにテーマパークに到着するので、将来起こることには不確実性が存在する。

## 3. User-in-the-loop forecasting

ここでは、ユーザの最適化と将来の待ち時間コスト予測を結びつける user-in-the-loop forecasting の概要について述べる。まず、user-in-the-loop forecasting では、各ユーザが随時アクセス可能なサーバが設置される。サーバが提供するサービスは、未来の各時刻に予想される各アトラクションでの待ち時間予測と、各ユーザの訪問順序登録である。

まず、各ユーザは自分の制約を満たしつつ、利用時間の最小化を試みるために、以下のようにアトラクション訪問順序を随時行うものと仮定する。

- 訪問しなければならないアトラクションでまだ未訪問のものから構成される訪問順序を解としてローカルサーチで探索する。
- ローカルサーチでは、ランダムな初期解から出発し、近傍解をランダムに生成する。もし近傍解の採用によって利用時間が減少するのであれば、解を置き換える。規定回数更新が無い場合は探索が終了し、終了時に保持していた解を訪問順序と決定する。
- 解の評価については、user-in-the-loop forecasting サーバを利用する。ある解の評価を行う際、訪問順序の先頭から、アトラクション予測到着時刻を計算し、その予測到着時刻における予想待ち時間をサーバに問い合わせる。予測到着時刻に待ち時間

とサービス時間を足し込んで、次のアトラクションの予測到着時刻とする。これを全てのアトラクションについて計算することで、解の評価とする。

各ユーザの訪問順序決定は、ローカルサーチによる最適化で実現されるので、もし予測待ち時間が精度の高いものが提供されるのであれば、この方法はユーザの理にかなったものである。しかし、将来の不確実な状況を含むこと、また予測待ち時間による行動の変化が予測そのものに影響を与えてしまう問題構造上、システムの外部から予測を行う手法はうまく働かない。従って、ここでは次に述べる方法でその予測を行う。

- 各ユーザは、訪問順序が決定した後、それぞれのアトラクションに装う到着時間をサーバに通知するものとする。
- サーバはアトラクション毎の各ユーザの到着時間を把握できるので、その到着時間を統計的に集計することにより、未来の予測待ち時間を計算する。各ユーザが実際に通知された時間に訪れるのであれば、予測待ち時間を正確に見積もることは容易である。

以上の手順によって user-in-the-loop-forecasting に基づくテーマパーク問題の負荷分散を提案する。なお、この手法は、最適化が保証されるのはミクロなユーザの立場からのみであるが、個々の利用時間の最適化はマクロな意味での利用時間の平均を押し下げる効果があると思われる。ただし、ゲーム理論的な観点から見ると、問題構造によってそれが必ずしも真になる場合だけではないので、実際にシミュレーションを用いて詳細に調査する必要がある。

## 4. おわりに

ここではテーマパーク問題と user-in-the-loop forecasting による負荷分散の概要を述べた。詳細については当日発表する。

### 謝辞

本研究の一部は、科学技術振興機構の戦略的基礎研究推進事業における研究領域「先進的統合センシング技術」の研究課題「安心と利便性を両立した空間見守りシステム」の支援による研究、および日本学術振興会の支援によるミシガン大学への海外特別研究員派遣期間中の研究である。各関係機関に深く感謝の意を表します。

### 参考文献

- [Kurumatani 04] Koichi Kurumatani: Mass User Support by Social Coordination among Citizens in a Real Environment, Multi-Agent for Mass User Support, Lecture Notes in Artificial Intelligence. (LNAI) 3012, Springer, pp.1-17 (2004)
- [kawamura04] Hidenori Kawamura, Takashi Kataoka, Koichi Kurumatani, Azuma Ohuchi: Investigation of Global Performance Affected by Congestion Avoiding Behavior in Theme Park Problem, IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems, Vol. 10, No. 124, pp. 1922-1929 (2004)
- [kataoka05] Takashi Kataoka, Hidenori Kawamura, Koichi Kurumatani, Azuma Ohuchi: Distributed Visitors Coordination System in Theme Park Problem, Lecture Notes in Computer Science 3446, Massively Multi-agent Systems in Public Space, pp. 335-348 (2005)