

ユビキタススケジューリング — 社会における混雑緩和に向けて —

宮下 和雄¹

要旨: 本論文では, ユビキタス情報社会における新たなサービスとして, 社会における混雑や待ちを緩和するためのスケジューリング手法の適用について述べる. ユビキタス情報社会では, 人々は周囲の人々や人工物と情報を常にやり取りするための携帯デバイスを身に付けて生活していると想定される. 今日, そうした状況を前提として提案されているサービスは, 案内システムなどのユーザの位置情報に基づいた個人適的な情報提供に関するものがほとんどである. こうしたサービスは確かに個人生活における利便性の増大に大いに寄与すると考えられる. 本論文では, 更に, ユビキタス情報環境に集う人々に対して, 集団としての利便性を改善するための新たな形のサービスとして, ユビキタススケジューリングの可能性を提案する. まずその最初のステップとして, 本研究では, ユビキタススケジューリングによって, 人々の行動を効率的かつ合理的に時間調整することにより, 社会における混雑や待ち時間を減らすことができることをテーマパークの事例を用いて検証することを目指す.

Ubiquitous scheduling for eluding social congestions

Kazuo Miyashita

Abstract: In this paper, the author advocates an innovative application of scheduling methodology to the emerging service, which is named as “social coordination” in the ubiquitous information environments. In the expected ubiquitous information environments, most of the people are assumed to have or *wear* some computational devices which can send and receive information among other devices in their proximity. Currently a typical service proposed in such an environment is information provision adapted to each person in a specific location. The service is supposed to increase a single person’s convenience. However, a new type of service (“social coordination”) is also possible for increasing group’s conveniences in ubiquitous information environments. In this paper, the author explains the concept of “ubiquitous scheduling” that eludes congestions in the society by scheduling people’s activities efficiently and rationally.

1 はじめに

計算機や各種センサーおよび無線通信機器の性能向上・低価格化の急激な進展により, 社会の至る所に情報の受発信機能を持つ情報機器が備わったユビキタス情報社会 [5] の訪れが目の前に迫りつつある. しかしながら, 前記のようなハードウェア技術の急速な進歩とは対照的に, それを活用したソフトウェア, 新たなサービスの在り方に関しては, 未だ「キラーアプリケーション」

と呼べるような提案はなされていないのが現状である.

例えば, 現在「位置情報に基づく情報サービス」の典型例として提案されているシステムは, 美術館などにおいて, 閲覧者の現在位置の情報に基づいて, その場に存在する絵画などの解説を自動的に個々の閲覧者の情報端末に発信するというものである. 閲覧者側の情報端末に閲覧者の趣味や国籍などの情報が記録されていれば, 近くにある閲覧者の好きな作品の展示場所に案内したり, 解説を母国語で行うなどの個人適的な情報提供サービスも実現できる.

このようなサービスはユビキタス情報環境にいる個

¹ 独立行政法人 産業技術総合研究所 (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)
E-mail: k.miyashita@aist.go.jp

人に対する有用なサービスではあるが、その場に居合わせた他の人々との関係に関しては何も考慮されていない。例えば、上の例では同じ嗜好を持つ大勢の人々を一度に同じ作品のあるブースに案内することにより、大混雑を発生させてしまう可能性もある。

したがって、ユビキタス情報環境においては、現在提案されている上記のような個人指向のサービスに加えて、その場で発生する「混雑・待ち」を解消するように人々の行動を誘導する社会的調整機能 [1] の実現が、集団としての利便性を指向した新たなサービスとして考えられる。

本論文では、ユビキタス情報環境における社会的調整を分散資源配分問題として定式化し、制約に基づくスケジューリングヒューリスティクスを用いてそのリアルタイムな解決を行う「ユビキタススケジューリング」を提案する。さらに、提案された手法の有効性を、テーマパークを題材とした具体的な事例を用いて説明する。以下、まず 2 章ではテーマパーク問題を解説し、3 章ではユビキタススケジューリング手法について、そのアルゴリズムを説明する。続く 4 章では開発中のシミュレーションシステムについて述べ、5 章で得られた知見を整理し、今後の課題を展望する。

2 テーマパーク問題

我々は、ユビキタスな情報環境における混雑・待ちを減らすユビキタススケジューリングを適用する題材として、テーマパークを取り上げる [7]。テーマパークを選択した主な理由は以下の通りである。

- 大規模なテーマパークには年間数百万人を越える入場者があり（ちなみに、東京ディズニーランドとディズニーシーには併せて年間約 2400 万人もの来場者があり、世界最多である）、人気のあるアトラクションには数十分待ちもの長い列ができることも珍しくない。各テーマパークでは、待ち時間を減らして来場者の満足度を向上させるために、ウェブでの待ち時間情報の提示、人気の高いアトラクションに対する事前予約など様々な工夫を行っている。
- 全ての来場者の主たる目的は、快適にできるだけ多くのアトラクションを楽しむことであり、それはテーマパーク側の目的（来場者の満足度向上）と一致すると考えられるため、社会的調整による得失を明確に定量化できる。

- テーマパークは、他所からは隔絶された閉鎖的な環境であるため、ユビキタスな情報環境を実現しやすい場であると考えられる。

本研究で想定しているユビキタス情報環境は、テーマパーク内の各アトラクションと来場者が情報端末を介した情報の受送信が行える情報機器を備えていることを前提としている。ユビキタススケジューリングシステムを利用する際、来場者は、来場時刻、退場時刻、訪問したいアトラクションとそのオプションとして訪問希望時間帯の情報を自らの情報端末に入力することが想定されている。それらのデータは該当するアトラクションに送信され、アトラクションは訪問を希望する個々の来場者に対して、自らに対する負荷を分散するようにアトラクションを訪問する予定時刻を提示する。

現実には、来場者の中には、ユビキタススケジューリングシステムを使用しない人や、その指示に従わない人がいることも予想されるため、システムの使用を促すよう来場者にインセンティブ（例えば、アトラクションにシステム使用者優先入り口を設置するなど）を与えることも重要である。

上述のような課題の他に、テーマパーク問題はユビキタス情報環境における社会的調整問題として、以下の重要な性質を備えている。

1. 非常に大規模な問題である。

大規模なテーマパークの場合、1 日の来場者は数万から十数万程度が想定され、それらの来場者が数十程度のアトラクションと情報のやり取りを行いながら、満足できる品質のプラン（アトラクションへの訪問予定時刻）を決定しなければならない。

2. 実時間性が要求される。

来場者に関する情報は、予め入手することはできないので、個々の来場者が実際にテーマパークを訪れてから、当該来場者に対するスケジューリングを開始しなければならない。しかも、スケジューリングのために長時間にわたって来場者を待たせることはシステムの目的（「待ち」を減らす）に反する。したがって、リアルタイムなスケジューリングが可能な手法を開発する必要がある。

3. 公平性が重要である。

システムが有効に機能するためには、来場者がシステムを信用することが必要である [8]。そのためにはシステムの提示するプランの内容が来場者にとって十分公平な提示であることを来場者に納得

してもらることができるスケジューリング手法でなければならない。

上記の課題を解決する手法として、制約に基づくスケジューリングヒューリスティクスをユビキタススケジューリングに適用する。制約を陽に表現し利用したスケジューリングを行うことにより、ヒューリスティックな探索空間の削減、リアルタイムでの逐次的な問題空間の構築、さらには来場者の納得を促すための情報提示などが行えることを、次章で具体的な例を用いて示す。

3 ユビキタススケジューリング

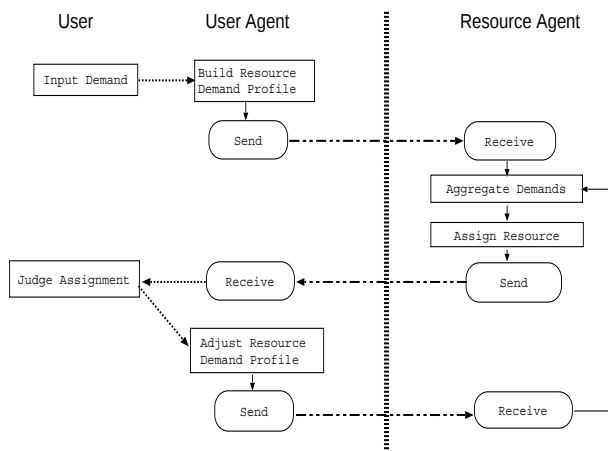


図 1: ユビキタススケジューリングにおけるエージェント間インタラクション

本論文で提案するユビキタススケジューリングは、資源に対する要求を持つユーザのエージェントと資源エージェントが、互いの制約情報を交換しながらユーザに対する資源使用時間を割り当てる。この際、ユーザエージェント間あるいは資源エージェント間には全くインタラクションを行わないため、マルチエージェントによる分散型資源割り当て問題 [4] としてモデル化できる。

ユビキタススケジューリングにおけるエージェント間のインタラクションの概要を図 1 に示す。図中ではユーザ、ユーザエージェント、リソースエージェントは各々1つしか描かれていないが、実際には多数のユーザ、ユーザエージェントとリソースエージェントが相互作用を行いながら、スケジュールを逐次的に決定する。以下では図 1 の流れに沿って、ユビキタススケジューリングにおける制約に基づくヒューリスティックなスケジューリング手法について説明する。

3.1 資源要求プロファイル

ユーザが自らの PDA や携帯電話などの情報端末に、使用したい資源とその最早使用開始時刻と最遅使用完了時刻を入力すると、情報端末上のユーザエージェントはその情報に基づいて資源要求プロファイル [3] と呼ばれるデータを生成する。資源要求プロファイルは、ユーザの時間に対する制約（即ち、資源使用の開始時刻と完了時刻）を考慮した資源に対する要求の強さの時間的分布を示すものである。具体的な例を図 2 に示す。

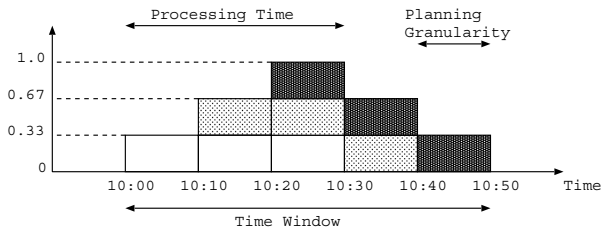


図 2: 資源要求プロファイルの例

図 2 では、ユーザが資源を 10 時から 10 時 50 分までの間に使用したいと要求しており、資源の使用時間は 30 分であると仮定している。さらに、スケジューリング精度を決定する時間粒度は 10 分として計画を立てることとしている。この場合、ユーザが資源を使用する時間帯は、10 時から 10 時 30 分、10 時 10 分から 10 時 40 分、10 時 20 分から 10 時 50 分の 3 通りしかなく、時間粒度毎におけるユーザが資源の使用を希望する強度は図に示すように階段状の分布になる。この例では、ユーザの制約条件を満たすためには、10 時 20 分から 10 時 30 分の時間帯は、必ずこの資源をユーザに割り当てなければならないことがわかる。

資源要求プロファイルを資源エージェントに送信する際には、個々のユーザにおいて資源要求の総計が平等になるように正規化されたものが送信される。また、ユーザの資源要求プロファイルは、他の資源がユーザに割り当てられることによりユーザの利用可能な時間帯が変化する（即ち、新たな制約が追加される）毎に再計算される必要がある。

3.2 資源割り当て

ユーザからの資源要求プロファイルが該当する資源に送信されると、資源エージェントはそれらのデータを集計して、資源に対する要求の競合度を計算する。そして、できる限り多くのユーザからの要望に応えられるよう、負荷を均等に分散するように各ユーザに対して資源

の使用時間の割り当てを行う。その際、分散制約充足的な手法 [6, 2] を適用したのでは、ユビキタススケジューリングで想定している大規模な問題に対してリアルタイムな資源割り当ては計算量的に不可能になるため、ここではヒューリスティックな手法を用いてバックトラックなしの探索を行い資源割り当てを実行する。

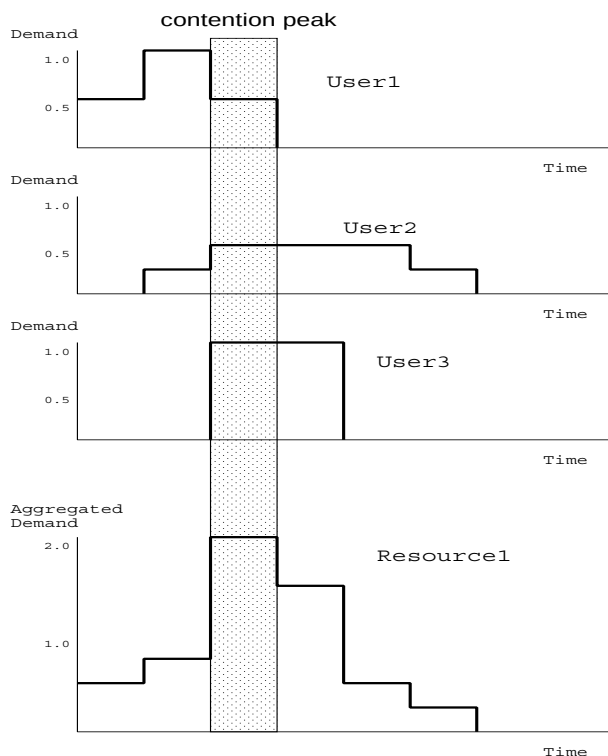


図 3: 要求競合ピークの算出

図 3 は、ある資源が 3 人のユーザからの資源要求プロフィールを集計した結果を示している。集計の結果、この資源に対する要求が最も大きくなる（競合ピークとなる）時間帯が存在することがわかる。更に、競合ピークとなる時間帯において、最もその資源を要求しているのはユーザ 3 であることも明らかになる。したがって、資源 1 に対する負荷をできるだけ均一にするには、ユーザ 3 には競合ピーク周辺の時間帯を割り付け、他のユーザに対しては競合ピークを避ける時間帯を割り付けるヒューリスティクスが有効であると考えられる。

3.3 要求の調整

個々の資源による上記のヒューリスティクスの適用の結果、ユーザに対して資源の使用時間の割り当て候補時刻が送信される。

しかしながら、個々の資源は、ユーザの他の資源への

要求に関する情報を持たず、他の資源とのインタラクションを行わないで自らに対する要求にできるだけ多く応えることしか考慮しないため、個々のユーザにおいて資源から割り付けられる時間帯が、他の資源への要求とコンフリクトすることもあり得る。そのような場合、分散制約充足手法では通常、バックトラックを行ってコンフリクトを解消する解の探索を行う。しかし、ユビキタススケジューリングではバックトラックに伴う計算時間の指数的な増大は許容できない。したがって、ユーザの要求にコンフリクトが生じてしまった場合には、ユーザによる要求の調整が行われる。その際に、ユーザが納得して調整を行うように誘導する情報の提示が重要となる。

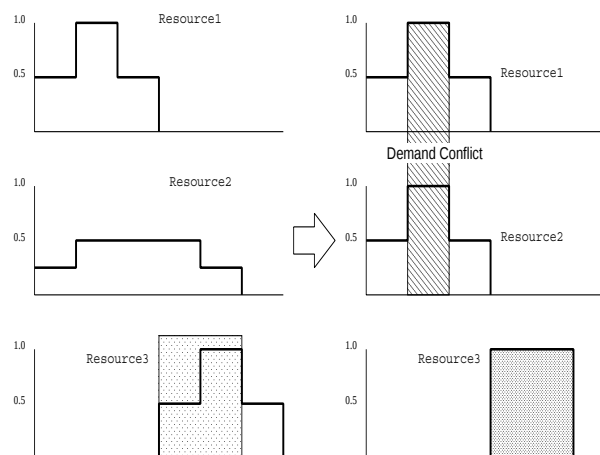


図 4: 要求のコンフリクト

図 4 は、ユーザの資源要求にコンフリクトが生じた様子を示すものである。図の左側は資源からの割り付け候補時刻が通知される以前の、あるユーザの 3 つの資源に対する資源要求プロフィールを図示したものである。図の右側は、資源 3 に対して網掛けされた時間帯に使用が割り当てられた際の資源 1、資源 2 に対する要求プロフィールの変化の様子を示している。資源 1 に対する要求プロフィールには変化がないものの、資源 2 に対しては利用可能なタイムウィンドウが減少してしまったので、要求プロフィールのピーク値が 1.0 に増加している。その結果、このユーザの資源 1 と資源 2 に対する要求を同時に満たすことは不可能となり、コンフリクトが生じてしまっていることがわかる。

このような状況では、ユーザは図 4 に示されるような情報に基づいて、3 つの資源への要求を全て満足させるのは、全体の混雑度から無理である（即ち、網掛けされた時間帯が資源 3 によって割り付けられたのは、資源 3 への混雑を緩和するために仕方がない）と納得した上

で、資源 3 からの割り付け時間帯候補を受け入れるか否かを判断する。受け入れると判断した場合は、即ち、資源 1 か資源 2 のどちらかの使用を断念するということであるため、ユーザは断念するどちらかの資源に対する要求プロファイルを削除する。また、資源 3 からの割り当てを拒否するということは、資源 3 の使用より資源 1、資源 2 を優先させるということであるので、ユーザは資源 3 に対する要求プロファイルの削除を行う。ユーザエージェントは、こうして断念する資源に対する要求プロファイルの正規化処理を行い、その結果を資源エージェントに送信する。

4 シミュレーションシステム

現在、上述のコビキタススケジューリング手法に基づき、仮想的なテーマパーク上での来場者の行動をシミュレートするシステム (ASAP: Agent based Simulator for Amusement Park) を開発中である。

4.1 ASAP におけるエージェントモデル

ASAP における仮想的なテーマパークは、以下の 3 種類のエージェントから構成されている。

1. ビジターエージェント

テーマパークを訪れる来場者をシミュレートするエージェントであり、他のビジターエージェントとは相互作用を一切行わない。ビジターエージェントには、コビキタススケジューリングに基づく調整を受け入れる協調タイプ、調整なしに自らの優先順位にしたがって行動する独走タイプの 2 種類を想定している。ビジターエージェントの属性としては、来場時間、退場時間、歩行速度、訪問希望施設リストなどがある。

協調タイプのビジターエージェントについては、施設エージェントから割り当てられた予約時間の合間に他の施設を訪問すること（寄り道）も許している。しかしこの場合は、必ずしも寄り道した施設を予約時間前に利用できるとは限らないので、実際に他の施設への寄り道を行うかどうかを、予約の空き時間と移動時間、予想待ち時間の関係から判断するための閾値（この値はビジターエージェントの慎重さを表す）を属性として持つものとする。また、寄り道の最中に、次の予約時間に間に

合わないと判断した場合、ビジターエージェントは寄り道した施設の利用を断念し、予約した施設へ移動を開始する。

ビジターエージェントの取り得る状態としては、以下の 6 状態を想定している。(1) 休止状態、(2) 移動状態、(3) 予約なし待ち状態、(4) 予約有り待ち状態、(5) 利用状態、(6) 終了状態。ASAP におけるビジターの行動は、これらの 6 つの状態間の遷移で表される。

2. 施設エージェント

テーマパーク内のアトラクションやレストラン、ショップなどにおける待ち行列の状態をシミュレートするエージェントであり、ASAP では以下の 3 種類の施設エージェントを想定している。

(a) 予約可能施設

コビキタススケジューリングによる訪問時間の予約可能な施設である。独走タイプのビジターエージェントの利用も可能だが、利用に当たっては予約を行った協調タイプのビジターエージェントが優先される。この施設の利用に当たって必要な時間は一定である。

(b) 予約不可・定時間施設

コビキタススケジューリングによる訪問時間の予約が不可能な施設である。したがって、協調タイプのビジターエージェントも利用に当たって、必要であれば順番待ちをしなければならない。この施設の利用に当たって必要な時間は一定である。

(c) 予約不可・変動時間施設

これもコビキタススケジューリングによる訪問時間の予約が不可能な施設である。このタイプの施設はレストランやショップを想定しており、この施設の利用に当たって必要な時間は、確率的に決定されるものとする。

3. 調整エージェント

予約可能施設において、協調タイプのビジターに対してコビキタススケジューリング手法に基づいた訪問予定時刻の提示を行うエージェントである。調整エージェントは、一つ以上の施設に対して予約を行うことは可能であるが、調整エージェント間の情報のやり取りは行わない。

なお、現バージョンの ASAP は、テーマパーク内の道路をモデル化しておらず、ビジターエージェントは施

設エージェント間を直線的に一定の歩行速度で移動できるものとしている。

4.2 シミュレーション方式

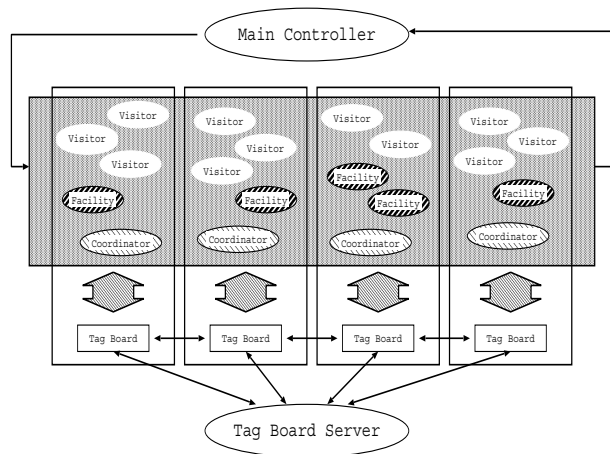


図 5: ASAP システム

本シミュレーションは非常に大規模な問題を対象としているため、インプリメントには高速化に対する配慮が重要である。そこで、事象ベースではなく時間ベースのシミュレーション方式を採用することにより、シミュレーションサイクルの最適化によるシミュレーション時間の短縮を可能とする。さらに図 5 に示すように、ASAP は分散共有メモリに基づく並列実行を行うことにより大規模なシミュレーションを実施できる。

5 まとめ

本論文では、ユビキタスな情報環境における新たなサービスとして、社会における「混雑・待ち」を緩和するユビキタススケジューリングを提案し、具体例としてテーマパークでの来場者の予約・誘導に適用し、リアルタイムに大規模な問題を公平に解決する手法として、制約に基づくスケジューリングにおけるヒューリスティックな調整が有効であることを示唆した。今後の課題は、まず現在開発中のシミュレータを用いて、現実的な規模で実験を行い本手法の有効性を検証することである。更に、テーマパーク問題以外、例えば ITS におけるナビゲーションなどへの本手法の適用可能性を探っていくことも、次の課題としてあげられる。

謝辞

本研究を開始する上で有意義な御議論を頂き、テ

マパーク問題に関してご教示下さった、産業技術総合研究所 車谷浩一氏、北海道大学 川村秀憲氏の各氏に謝意を表します。また、シミュレーションシステムの開発には、アライドエンジニアリング (株) 西守 充氏、藤田雄一郎氏のご協力を頂きました、心より感謝致します。

参考文献

- [1] Koichi Kurumatani. Social coordination with architecture for ubiquitous agents: Consorts. In *Proc. of International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce IAWTIC'2003*, 2003.
- [2] Kazuo Miyashita and Masahiro Hori. A distributed architecture for planning and scheduling that learns through negotiation cases. In *Proceedings of IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, pages 136–142, 1996.
- [3] Norman Sadeh. Micro-opportunistic scheduling: The micro-boss factory scheduler. In M. Zweben and M. Fox, editors, *Intelligent Scheduling*. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 1994.
- [4] Katia P. Sycara, Steven F. Roth, Norman Sadeh, and Mark S. Fox. Resource allocation in distributed factory scheduling. *IEEE Expert*, 6(1):29–40, 1991.
- [5] Mark Weiser. Hot topic: Ubiquitous computing. *IEEE Computer*, pages 71–72, 1993.
- [6] Makoto Yokoo, Edmund H. Durfee, Toru Ishida, and Kazuhiro Kuwabara. Distributed constraint satisfaction for formalizing distributed problem solving. In *Proceedings of the Twelfth International Conference on Distributed Computing Systems*, pages 614–621, 1992.
- [7] 川村 秀憲, 車谷 浩一, and 大内 東. テーマパーク問題の提案と調整アルゴリズムの検討 ～ユビキタス環境における群ユーザ支援の実現へ向けて～. In *情報処理学会研究会報告, Vol. 2003, No. 39, 2003-UBI-1*, pages 57–64, 2003.
- [8] 佐伯 胖. 「きめ方」の論理 社会的決定理論への招待. 東京大学出版会, 1980.