

経路推薦サービス Route Market におけるトレーダの挙動のシミュレーション

Simulation of Traders' Behavior in Route Recommendation Service "Route Market"

別府 桂介^{*1}
Keisuke Beppu水山 元^{*2}
Hajime Mizuyama野中 朋美^{*3}
Tomomi Nonaka^{*1*2*3} 青山学院大学
Aoyama Gakuin University

Route Market, a route recommendation service using a prediction market, collects knowledge from the crowd about a network, and evaluates candidate routes between a point of departure and a destination in the network according to the collected knowledge. This research studies whether traders' traveling experiences and subjective evaluation of routes are properly captured through a prediction market in Route Market. This simulation investigates the performance of a prediction market on the shortest path of the network by modelling the traders as computer agents.

1. はじめに

Google Map など経路案内サービスを利用すると、目的地まで移動経路を知ることができる。こういったサービスでは、ユーザに提示する経路を決定するための評価尺度として、時間的コストや、金銭的コストを用いる。したがって、適切な経路を選択するためには、サービスプロバイダは通行可能な道路網のトポロジや、各道路にかかる所要時間やコストなどの情報を保持する必要がある。しかし、それらのような情報は膨大であり、単体のサービスプロバイダが、それらを収集し、道路網全体について把握することは難しい。また道路網の状態は時間と共に変化することもあり、一度収集した情報が正しいとは限らない。さらに、ユーザにとって適切な経路はユーザに依存する。したがって、候補となる経路を選択する際には、ユーザに適切であるかも重要となってくる。しかし、ユーザに適切であるかを判断するための情報をプロバイダが完全に用意することは難しい。そこでこれらの問題を解決するために、著者らは先行研究として、クラウドソーシングにより経路選択を行うサービス Route Market を提案した。このサービスはプラットフォームに、予測市場を用いるが、市場参加者の人数や所持金の量、取引に必要な知識量などの市場の状態は多種多様であり、それらを網羅するような、被験者実験による検証は容易ではない。そこで本研究では、Route Market におけるトレーダの挙動について、マルチエージェントシミュレーションを用いて検証する。

2. 経路選択問題

Route Market が対象とする経路選択問題を定式化する。まず、通行可能な道路網トポロジを、ノード集合 V とアーク集合 A からなる、有向グラフ $G = (V, A)$ と定義する。各アークの長さは、ユーザの好みを反映した主観的に評価された心理的な長さ l_a で定義する。さらに出発地から目的地までの経路集合を Ω とすると、経路 $P \in \Omega$ の経路長 $L(P)$ は、 $l_a (a \in P)$ の和となる。したがって、Route Market が対象とするような最短経路問題となる。



図 1 Route Market のフレームワーク

3. サービスの概要

Route Market のフレームワークを図1に示す。図1中の右側の人々を、ユーザと呼び、出発地と目的地に関する情報の他に、「私は車椅子を使用しています」や「私は子供たちを引率しています」など、自分自身の好みに関する情報も提示する。図1中の左側の人々を、クラウドと呼び、ユーザの好みに従った経路評価や各経路の特徴や経路網のトポロジの状況に関する情報の提供を行う。図1の中心部分は、サービスを実現するシステムを表し、このシステムはクラウドから提供された情報と主観的な評価を受け入れ、処理した後、高く評価されたいいくつかの経路を提供された情報とともにユーザに提示する。そして、ユーザはこれらの経路の中から、好みのもの一つを選ぶ。

4. 予測市場の設計

Route Market では、経路の評価のためのプラットフォームとして予測市場を用いる。予測市場とは、対象となる確率変数の未知の実現値に依存し、事後的に価値が決まる仮定の証券(予測証券)を売買する先物取引市場のことであり、未知の実現値に対する動的な予測ができる。さらに、予測市場は最短経路問題のような意思決定問題に対しても有用である。

Route Market における予測市場については著者らの先行研究で設計されている。Route Market の予測市場では経路証券とアーク証券という2種類の予測証券を扱う。これらの証券はそれぞれ、各経路と各アークに対応している。経路証券 P の価格は

経路 P が最短経路となる確率を示しており、経路同士の評価の比較を容易にする。しかし、ネットワークが複雑なときは、経路単位での検討はトレーダの認知負荷が大きい。そこで、トレーダはアーク証券を通じて経路証券の売買を行う。つまり、アーク証券を経路証券のバンドルとみなす。そして、経路 P がユーザーに選ばれたとき、経路証券については、経路証券 P にのみ配当が与えられるが、アーク証券については $a \in P$ を満たすアーク a に対応するアーク証券すべてに配当が与えられる。

5. シミュレーションモデル

著者らの先行研究で Route Market におけるトレーダの挙動を検証するためのマルチエージェントシミュレーションのオブジェクトを図2のように設計した(別府 17)。本シミュレーションでは、アーク集合とノード集合から構成されるネットワーク G を対象とする予測市場 M を開く。トレーダエージェントはネットワーク G の出発地から目的地までの最短経路を予測し、それにしたがって、市場 M でアーク証券の取引を行う。

5.1 トレーダエージェント

Route Market におけるトレーダエージェントは次のように設計した。まず、トレーダエージェントはそれぞれアーク a に関する知見として、アーク長についてのサンプル値 $\{e_{a1}, \dots, e_{an}\}$ を持つ。また、トレーダエージェントは $\{e_{a1}, \dots, e_{an}\}$ から、アーク a の予測長を正規分布に従うもの仮定して、ベイズ推定を用いてその平均 μ_a 、分散 σ_a を推定する。さらに、この推定した各アークの長さに関しての主観的な予測分布をもとに、経路 p が最短経路となる確率 sp_p をモンテカルロ法などによって求める。

エージェントの取引に関する意思決定は次のように設計した。アーク証券一枚あたりの配当額が d の市場 M で所持金 m のトレーダ t がアーク証券 a を Δq_a 枚取引するときに合理的なトレーダは経路についての予測分布を基にした期待効用 PU が最大になるように取引を行う。しかし、期待効用 PU の厳密な計算は認知負荷が高い。そこで、エージェントはアークについての予測分布に従って取引を行うと仮定し、 PU を、以下の式で定義される期待配当額 D とアーク a が最短経路に含まれる予測確率 sp_a を用いて

$$D = \sum_{p \in P} d * q_{tp} * sp_p$$

$$sp_a = \sum_{p \in \{P | a \in P\}} sp_p$$

アーク a に関しての期待効用 PU_a に近似する。

$$PU_a = \log(D - r(\Delta Q_{a,p}) + d * \Delta q_a) * sp_a + \log(D - r(\Delta Q_{a,p})) * (1 - sp_a)$$

すなわち、トレーダエージェントはこの PU_a が最大になるようなアーク a と取引枚数 Δq_a を選択する。ここで、 $r(\Delta Q_{a,p})$ は取引にかかる費用を決定する関数である。そして $\Delta Q_{a,p}$ は経路証券の取引枚数を表すベクトルで、 $\Delta Q_{a,p} = \{\Delta q_p | p \in P\}$ であり、 $a \in p$ のとき $\Delta q_p = \Delta q_a$ 、 $a \notin p$ のとき $\Delta q_p = 0$ とする。

また、本シミュレーションでトレーダエージェントは予測分布と、予測市場の価格分布とのカルバック・ライブラー情報量がトレーダごとにもつ閾値を超えたとき、予測分布の修正を行う。

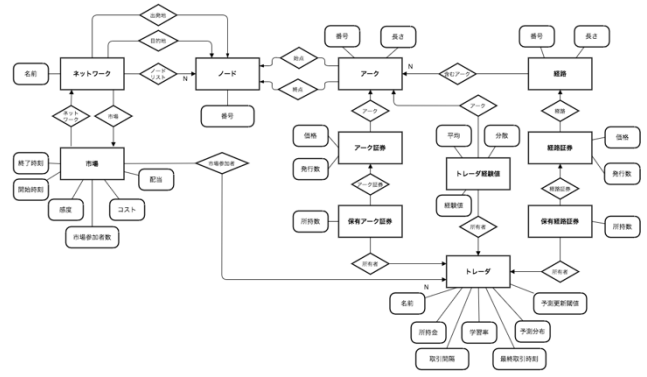


図2 オブジェクト設計図

6. シミュレーションによる検証

本研究ではシミュレーションにより Route Market におけるトレーダの挙動について検証することを目的としている。そこで、本研究ではトレーダの人数多寡によるトレーダの挙動への影響や、市場開始時に所持金や、知見の量にばらつきなどがある状況における、トレーダの挙動について検証する。また、そういった様々な市場の状況において、トレーダの知見がどのように集約されていくかについても検証する。

7. おわりに

本研究では、Route Market におけるトレーダの挙動について、マルチエージェントシミュレーションを用いて検証した。しかし、シミュレーションの精度については更なる検証が必要である。そこで、フィールド実験を行い、その結果とシミュレーションの結果を比較するなどして、シミュレーションの精度について検証していくことは、今後の課題である。最後に、本研究への科学研究費補助金(挑戦的萌芽 16K12827)の補助に感謝する。

参考文献

[別府 17] 別府桂介, 水山 元, 野中朋美: 予測市場に基づく経路推薦サービス Route Market のシミュレーションによる評価, サービス学会第5回国内大会, 2017

[水山 14] 水山元: 完全記述が困難な最短経路問題への予測市場を用いた集合知援用の解法アプローチ, 人工知能学会論文誌, 27 巻 6 号, pp328-337, 2012

[Hanson 07] Hanson, R.: Logarithmic Market Scoring Rules for Modular Combinatorial Information Aggregation, Journal of Prediction Markets, vol. 1, pp.3-15, 2007

[Mizuyama 13] Mizuyama, H., Torigai, S., and Anse, M.: A Prediction Market Game to Route Selection under Uncertainty, Lecture Notes in Computer Science, vol.8264, pp.222-229, 2013

[Plott 00] Plott C.R.: Markets as information gathering tools, Southern Economic Journal, vol.67, pp.1-15, 2000

[Wolfers 04] Wolfers J. and Zitzewitz E. : Prediction markets, Journal of Economic Perspectives, vol.18, 107-126, 2004

[Dijkstra 59] Dijkstra, E.W. : A Note on Two Problems in Connexion with Graphs. Numerische Mathematik 1, pp.269-271, 1959