

マルチエージェントサプライチェーンにおけるブルウィップエフェクトの抑制

石川 諒人†

†東京農工大学大学院 工学府

藤田 桂英‡

‡東京農工大学大学院 工学研究院

1 はじめに

Society 5.0[1] など、サプライチェーンマネジメントをはじめとしたあらゆる産業や社会生活に AI を導入し、格差なく、多様なニーズにきめ細かく対応したモノやサービスの提供が重要となっている。特に、競技会が開催されるなど、マルチエージェントによる競合企業を含むサプライチェーンマネジメントの研究が注目を集めている [2]。一方、現状のサプライチェーンマネジメントにはブルウィップという現象が発生し、企業や消費者などに対して様々な悪影響をもたらすことが知られている。

本論文では、マルチエージェントによる競合企業を含むサプライチェーンを想定し、ブルウィップエフェクトを抑制する方法を提案する。提案手法では、先駆在庫をマルチエージェントサプライチェーンに導入する。また、マルチエージェントシミュレーションにおいて、提案手法の効果を検証する。

2 マルチエージェントサプライチェーンとブルウィップエフェクト

本論文では、対立的なマルチエージェントによる掲示板交渉を用いたサプライチェーンマネジメントに注目する。マルチエージェントサプライチェーンでは、エージェントは製造企業運営者として自分の利益を高めるために製造や購入、販売などの活動を行う。対立的なサプライチェーン環境において、他のエージェントに自分の情報を公開することはリスクがあるため基本的に行われず。掲示板交渉では、エージェントは交渉相手を掲示板で探し、その後エージェント間で交渉を行い成果物の売買を行う。

また、サプライチェーンにおいて変動する需要が拡大および歪曲して遡る現象をブルウィップという [3][4]。ブルウィップは供給不足や在庫過多、過剰や不十分な能力、並外れた残業などの悪影響をもたらす。情報共有やリードタイムの短縮などにより影響を抑えることができる。ブルウィップエフェクト ω は、一工程後からの需要量を D_{in} 、一工程前への発注量を D_{out} とした

とき、

$$\omega = \frac{\sigma D_{out}}{\mu D_{out}} \cdot \frac{\mu D_{in}}{\sigma D_{in}}$$

となる [5]。本研究では、マルチエージェントサプライチェーンにおいてブルウィップエフェクトを抑制する方法を提案する。

3 先駆在庫を考慮したブルウィップエフェクトの抑制手法

3.1 情報共有

現実世界では、需給情報をサプライチェーン全体に共有することでブルウィップを抑制できることが知られている [3]。通常、下流工程を遡るときに消費者の需要情報の伝達は歪曲および拡大され遅延が発生する。一方、消費者の需要情報が上流工程に共有された場合、歪みや拡大、遅延を抑えられ、ブルウィップエフェクトを抑制することができる。

3.2 安全在庫

安全在庫とは、リードタイム中の平均消費量よりも多くの在庫を確保することで、欠品を防ぐ手法である [6]。現実世界では、欠品等による損失を防ぐために、導入されている指標である。安全在庫 SS は、あるサービス率 A を満たす安全係数を k 、需要量の標準偏差を σ 、発注間隔を O 、リードタイムを T としたとき、以下のように表される。

$$SS = k\sigma\sqrt{O+T}$$

3.3 先駆在庫

マルチエージェントによるサプライチェーンにおいて、自分の需給情報を共有することはエージェントにとってリスクが伴うため、現実的ではない。そこで、平均消費量に加えて掲示板の情報から需要量を推測して在庫として確保する先駆在庫という手法を提案する。

現在のステップ数を t 、消費者からの需要情報が遡上し到達にかかるステップ数を p 、消費者 c によって掲示板に投稿された需要量を $D_c(t)$ 、同じ階層の企業数を n とすると、これらの値を用いて先駆在庫 $PS(t)$ は

$$PS(t) = \frac{\alpha}{n} \sum_c D_c(t-p)$$

Suppressing Bullwhip Effect in Multi-Agent Supply Chain with Automated Negotiation

†Faculty of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

‡Institute of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

表 1: 戦略ごとの獲得効用とブルウィップ値

階層数	2		3		4		5	
	効用	bullwhip	効用	bullwhip	効用	bullwhip	効用	bullwhip
先駆在庫 ($\alpha = 1.0$)	0.190	2.384	0.134	2.160	0.049	2.267	-0.002	2.354
先駆在庫 ($\alpha = 5.0$)	0.561	1.368	0.343	1.418	0.188	1.627	0.171	1.571
先駆在庫 ($\alpha = 10.0$)	0.582	1.654	0.384	1.702	0.323	1.438	0.203	1.448
安全在庫 ($A = 0.01$)	0.510	1.390	0.343	1.438	0.253	1.515	0.188	1.655
安全在庫 ($A = 0.10$)	0.387	1.499	0.214	1.768	0.168	1.868	0.141	1.721
追加在庫なし	0.148	2.669	0.071	2.681	0.028	2.567	-0.015	2.688

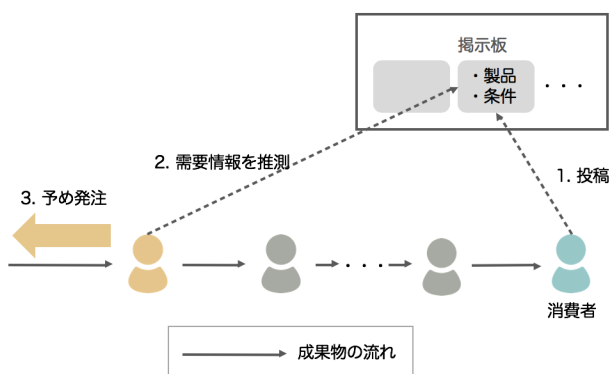


図 1: 先駆在庫

と表される。なお、 α は確保する量を左右するパラメータである。

図 1 は先駆在庫の概念を示している。エージェントは掲示板に投稿されている、売買情報から需要を推測することで、先駆在庫を計算し、あらかじめ発注することで、ブルウィップエフェクトの抑制を行う。

4 評価実験

自動交渉プラットフォームの Negmas を用いて実験を行う [7]。製造企業の階層数を 2 から 5 に、サプライチェーンにおける全エージェントに割り当てる戦略とパラメータを変更し、30 回繰り返す。消費者の消費スケジュールは、パーリンノイズにより 0 から 20 の間で生成する。各階層の最小および平均製造企業数はそれぞれ 1 と 3 とする。シミュレーションのステップ数は 200 として、他の設定については自動交渉競技会 ANAC2019 の SCM リーグ [2] と同様にした。

シミュレーションで得られた製造企業の階層数ごとの各戦略の獲得効用とブルウィップの値を表 1 に示す。提案した手法 (先駆在庫) が安全在庫や追加在庫なしの戦略と比較して高い効用値と低い bullwhip 値を示していることから、既存手法よりも多くの効用を獲得し、

ブルウィップを抑えることが示された。階層数を増やしても、提案手法は高い値を示しており、有効に働いている。また、パラメータ α が高くなるほど、多くの効用値と良い bullwhip 値を得ている。以上から、掲示板から需要情報を取得することが有効であることを示している。

5 まとめ

本論文では、対立的なマルチエージェントで構成されたサプライチェーンにおいて、掲示板から需要情報を推測することでブルウィップエフェクトを抑制する在庫戦略を提案した。評価実験により、提案手法を使用するエージェントが既存手法よりもブルウィップエフェクトを抑制可能であることを示した。

参考文献

- [1] 総務省. Society 5.0, https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html.
- [2] Amy Greenwald Mark Klein Satoshi Morinaga Shinji Nakadai Yasser Mohammad, Katsuhide Fujita. Tenth international automated negotiating agents competition, <http://web.tuat.ac.jp/~katfujji/ANAC2019/>.
- [3] Jay Wright Forrester. Industrial dynamics: A major breakthrough for decision makers. *Harv. Bus. Rev.*, 36(4):37–66, 1958.
- [4] Hau L Lee, Venkata Padmanabhan, and Seungjin Whang. The bullwhip effect in supply chains. *Sloan management review*, 38:93–102, 1997.
- [5] Jan C Fransoo and Marc JF Wouters. Measuring the bullwhip effect in the supply chain. *Supply Chain Management: An International Journal*, 5(2):78–89, 2000.
- [6] Ellen Monk and Bret Wagner. *Concepts in Enterprise Resource Planning*. Course Technology Press, Boston, MA, USA, 4th edition, 2012.
- [7] Yasser Mohammad, Enrique Viqueira, Nahum Ayerza, Amy Greenwald, Shinji Nakadai, and Satoshi Morinaga. *Supply Chain Management World*, pages 153–169. PRIMA 2019: 22nd International Conference Principles and Practice of Multi-Agent Systems. 2019.