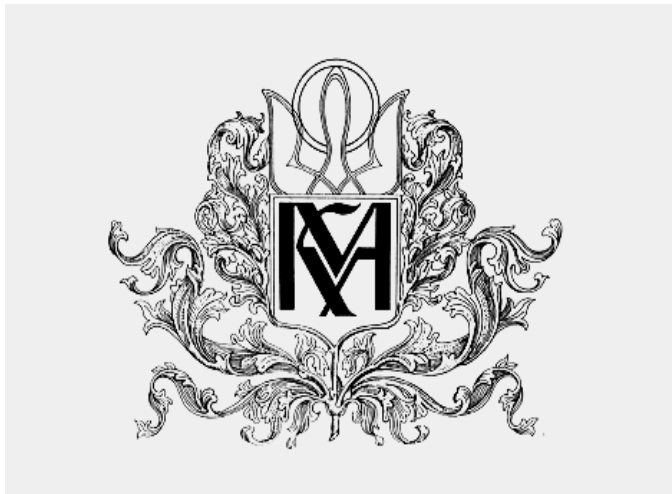


Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЄВО-МОГИЛЯНСЬКА АКАДЕМІЯ»

Кафедра інформатики факультету інформатики



Курсова робота

**Моделювання в Netlogo взаємодії учасників мережі поставок
на прикладі Beer DistributionGame**

Керівник курсової роботи
д.т.н., доц. Глибовець А. М.

(підпис)

“ ____ ” _____ 2020 р.

Виконав
Міхов Денис Вікторович

Київ 2020

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЄВО-МОГИЛЯНСЬКА АКАДЕМІЯ»
Кафедра інформатики факультету інформатики

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан кафедри інформатики

д.т.н., доц.

_____ А.М. Глибовець

(підпис)

“ ____ ” _____ 2020 р.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

на курсову роботу

Студенту: Міхов Д.В. факультету інформатики 1 курсу МП

ТЕМА: Моделювання в Netlogo взаємодії учасників мережі поставок на прикладі Beer Distribution Game

Вихідні дані:

Зміст ТЧ до курсової роботи:

Індивідуальне завдання

Вступ

1. Огляд розвитку галузі управління поставками
2. Застосування методів оптимізації в управлінні поставками
3. Вибір платформи для побудови моделі

Висновки

Список літератури

Дата видачі “ ____ ” _____ 2020 р.

Керівник _____

(підпис)

Завдання отримав _____

(підпис)

Тема: Моделювання в Netlogo взаємодії учасників мережі поставок на прикладі
Beer Distribution Game

Календарний план виконання роботи:

№ п/п	Назва етапу курсової роботи	Термін виконання етапу
1.	Отримання завдання на курсову роботу.	02.11.2019
2.	Огляд літератури за темою роботи.	15.11.2019
3.	Дослідження проблем управління поставками	25.11.2019
3.	Аналіз існуючих наукових підходів	05.02.2020
4.	Застосування мультиагентних систем для моделювання задач з управління поставками	05.04.2020
6.	Огляд засобів моделювання мультиагентних систем	15.04.2020
7.	Аналіз результатів та формування висновків	25.04.2020
8.	Коригування роботи згідно з коментарями наукового керівника	01.05.2020
9.	Захист курсової роботи	15.05.2020

Студент Міхов Д. В.

Керівник Глибовець А. М.

“ _____ ” _____ **2020**

Зміст

Анотація	6
Вступ	7
1. Огляд розвитку галузі управління поставками	8
1.1. Еволюція підходів в управління поставками	8
1.2. Застосування математичних методів для вирішення оптимізаційних задач в управлінні поставками	13
1.3. Beer Distribution Game як експериментальна модель для ілюстрації результатів неузгодженості дій учасників ланцюгів поставок	14
1.4. Можливі засоби зниження ефекту батіга	16
1.5. Огляд наукових досліджень Beer Distribution Game	17
1.6. Порівняння системи постачання з іншими розподіленими системами	20
2. Застосування наукових методів для зменшення ефекту кнута в управлінні поставками	21
2.1. Напрямки застосування наукових досліджень.	21
2.2. Приклади використання мультиагентних систем в рішенні задач організації поставок	22
2.3. Координація учасників ланцюгів постачання як ключовий спосіб зменшення ефекту батігу	24
2.4. Приклад симуляції: застосування теорії обмежень для зменшення ефекту батігу за допомогою агентного моделювання	26

2.5. Напрями досліджень з використанням симуляції Beer Distribution Game	27
3. Огляд платформ для моделювання мультиагентних систем	29
Висновки та постановка задачі	31
Список літератури	32

Анотація

У даній курсовій роботі розглянут аналіз проблем пов'язаних з ефективністю ланцюгів поставок та наукових досліджень щодо моделювання процесів взаємодії учасників ланцюгів поставок, в тому числі на прикладі Beer Distribution Game (BDG), яка ілюструє ефект батіга або Bullwhip Effect (BWE). Одним із поширених засобів дослідження цієї проблематики є застосування мульти-агентних систем моделювання.

Ключові слова: Beer Distribution Game, Bullwhip Effect, supply chain networks, мультиагентні системи, теорія обмежень.

Вступ

Актуальність теми.

Проблема ефективності ланцюгів поставок досліджується науковцями та практиками з середини двадцятого сторіччя. Незважаючи на суттєві результати таких досліджень їх практична доцільність не знаходить достатнього підтвердження в реальних умовах. Це зумовлено як певним спрощенням при опису наукових моделей, так і значним розвитком самої галузі, ускладненням характеру відносин між її учасниками. Застосування моделей мульти-агентних систем при дослідженнях дозволяє враховувати складну поведінку учасників ланцюгів та відносин між ними.

Мета дослідження. Метою є аналіз попередніх досліджень моделювання поведінки учасників ланцюгів поставок, які

- об'єднані в складні мережі
- обмінюються або не обмінюються інформацією
- впливають або не впливають на перерозподіл вигоди

і на основі цього створення висновку щодо їх ефективності та постановка задачі для побудови моделі в Netlogo, яка буде враховувати складність мережі поставок.

Для досягнення мети передбачаються такі кроки:

- аналіз досліджень в галузі управління ланцюгами поставок
- визначення задач в галузі управління ланцюгами поставок, які можуть бути вирішені за допомогою методів моделювання
- огляд наукових підходів до вирішення таких задач
- аналіз та узагальнення результатів деяких досліджень
- висновок та постановка задачі для реалізації в Netlogo

Об’єкт дослідження. Коливання в формуванні заказів учасників ланцюгів поставок.

Предмет дослідження. Моделювання мультиагентних систем на прикладі Beer Distribution Game.

Джерела дослідження. Електронні ресурси.

1. Огляд розвитку галузі управління поставками

1.1. Еволюція підходів в управління поставками

Протягом другої половини ХХ сторіччя галузь управління поставками об'єднала в собі напрямки, які довгий час були самостійними (дивись Рис.1)

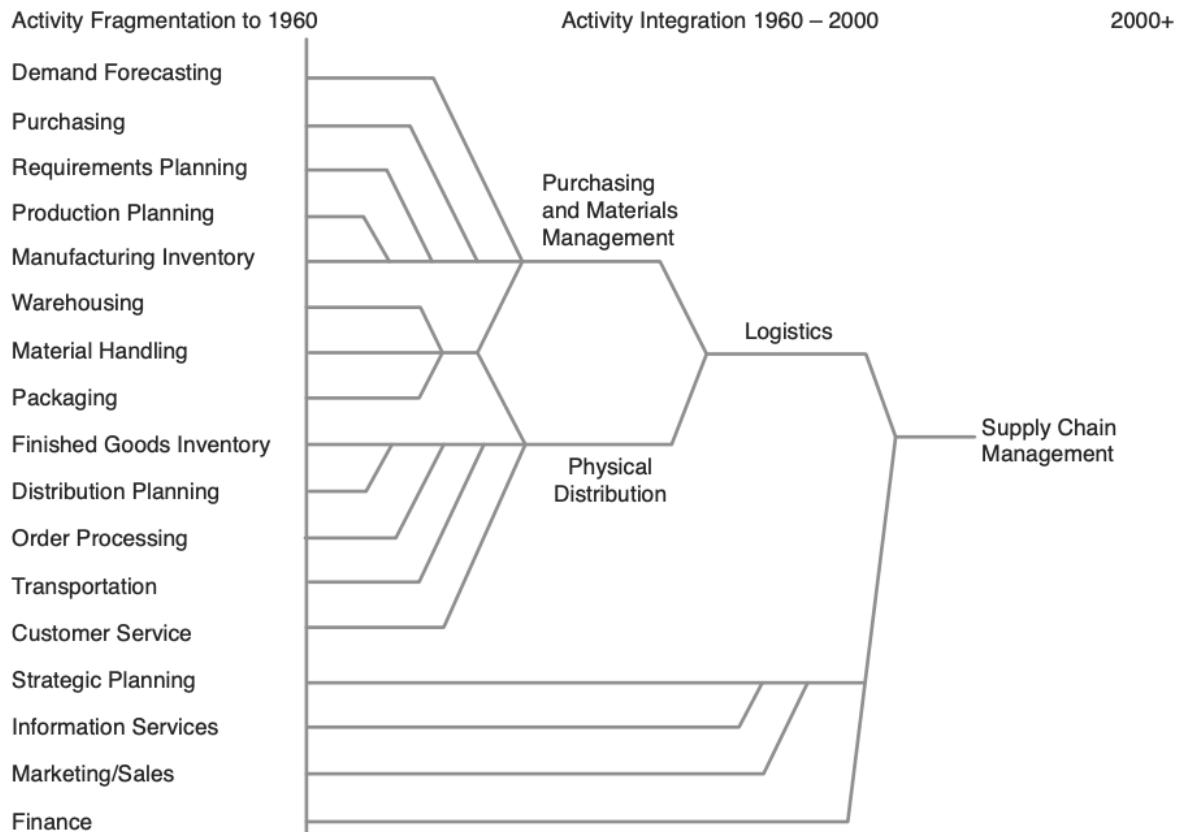


Рисунок 1

Причинами такої еволюції стали як технологічний розвиток, завдяки якому стала можливою автоматизація обробки даних, оперативний доступ та обмін ними, автоматизація та інтеграція процесів, так і конкуренція та глобалізація діяльності крупних міжнародних компаній.

З іншої сторони, цей розвиток спричинив появу нових наукових задач, які виходили за рамки досить типових задач з оптимізації діяльності відокремлених підрозділів, наприклад, організація складів для оптимального рішення транспортної задачі.

Додатковим поштовхом стала зміна ринкових сил всередині індустрій. До середини 90-х років в ланцюгу виробник-дистриб'ютор-роздріб-покупець

панував push підхід, який певною мірою був прогнозованим та керованим з боку виробника. З кінця XX-го сторіччя, в першу чергу в галузі FMCG, ринкові сили змінилися на перевагу покупців, що суттєво змінило ландшафт відносин всередині ланцюгів поставок на користь роздрібних гравців, або pull модель, та показало невідповідність існуючих на той час практик керування ланцюгами поставок.

Це спричинило появу нових наукових розробок з управління та підходів в організації взаємодії учасників. В 90-х роках з'явилась концепція інтегрованих ланцюгів поставок, яка мала на меті забезпечити співробітництво учасників виробничих ланцюгів завдяки запровадження обміну інформації або спільних процесів. Широкого розповсюдження ця модель не знайшла в зв'язку з тим, що така інтеграція між учасниками була тривалою і рідко успішною з багатьох причин.

		Functional Excellence	Integrated SCM	Extended Enterprise	Dynamic SCM
		← 1980s →	← 1990s →	← 2000s →	Onward→
Fit with business strategy	Role of supply chain	Meet internal commitments	Meet a customer commitment	Design and fulfill	Design, fulfill, and drive profit
	Extent of influence	Departmental boundaries	Company boundaries	Selected partners	“Ecosystem”/ networks
	Financial focus	Cost	Cost and service	Drive value	Dynamically optimize trade-offs
	Operational focus	Compliance	Interdependence	Collaboration	Agility
	Order management philosophy	First come, first served	Available to promise	Capable to promise	Profitable to promise
	Partner integration	Arm's length	Tight integration	Rationalization (less is more)	Interchangeable
Ability to execute	Supply/ demand balancing approach	Produce to a schedule	Fulfill aggregate demand	Forecasting and differentiated fulfillment	Sense, shape, and respond
	Decisioning	Siloed	Team-based	Rapidly address the urgent	Rapidly address the important
	Risk factoring	Afterthought	Buffers in the system	Contingencies and redundancies	Predictive and responsive
	Event horizons	Months	Weeks	Days	Near real-time
	Technology	Standalone applications	MRP/DRP	ERP and bolt-ons (“can plan”)	Adaptive layer

Таблиця 1.

Наступною стала концепція розширеного підприємства, або extended enterprise, яка полягає в поглибленні співробітництві за рахунок спільного бачення ринку на підставі обміну інформації, формуванні прогнозів та прийнятті спільних рішень, наприклад стосовно заказів. Ця концепція набуває поширення та перетворюється в напрям demand management, в рамках якого з'являються такі методології управління поставками як Sales & Operation Planning (S&OP) та Supply Chain Operations Reference (SCOR). Методології S&OP та SCOR ставлять на меті стандартизацію внутрішніх та спільних процесів компаній в

рамках управління поставками для подальшого спрощення інтеграційних процесів.

Розвиток мобільної комерції вже змінив уявлення про кордони ринків збуту та змусив адаптувати організацію поставок з урахуванням омніканальної організації продаж. Наступний крок розвитку комерції – регулярні покупки, які роблять пристрої за допомогою технологій інтернету речей – впливає на процеси управління поставками і в першу чергу в області прогнозування попиту на підставі даних не тільки про покупки, але й споживання. Очікується, що швидкість змін вподобань буде визначати вимоги до побудови майбутніх систем управління поставками, де вирішальними стане наявність корисної інформації для прийняття рішень, швидкість та мобільність прийняття рішень.

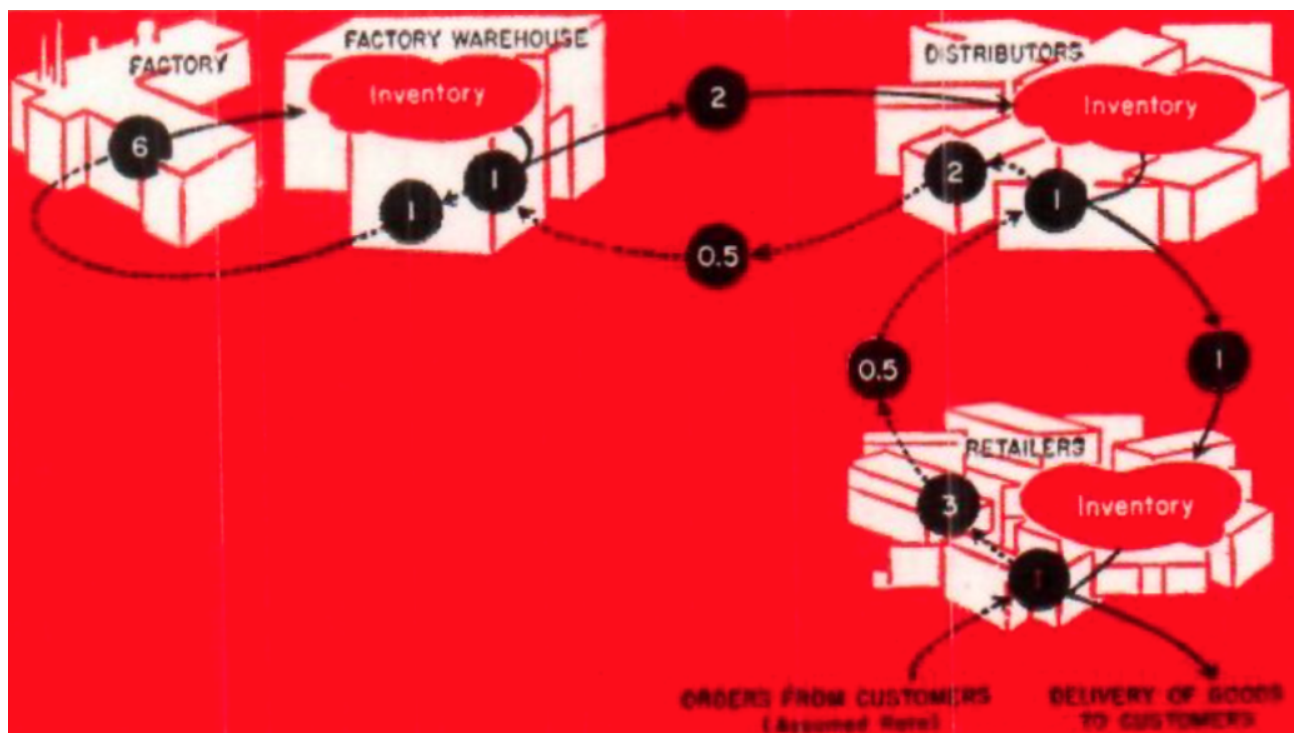
1.2. Застосування математичних методів для вирішення оптимізаційних задач в управлінні поставками

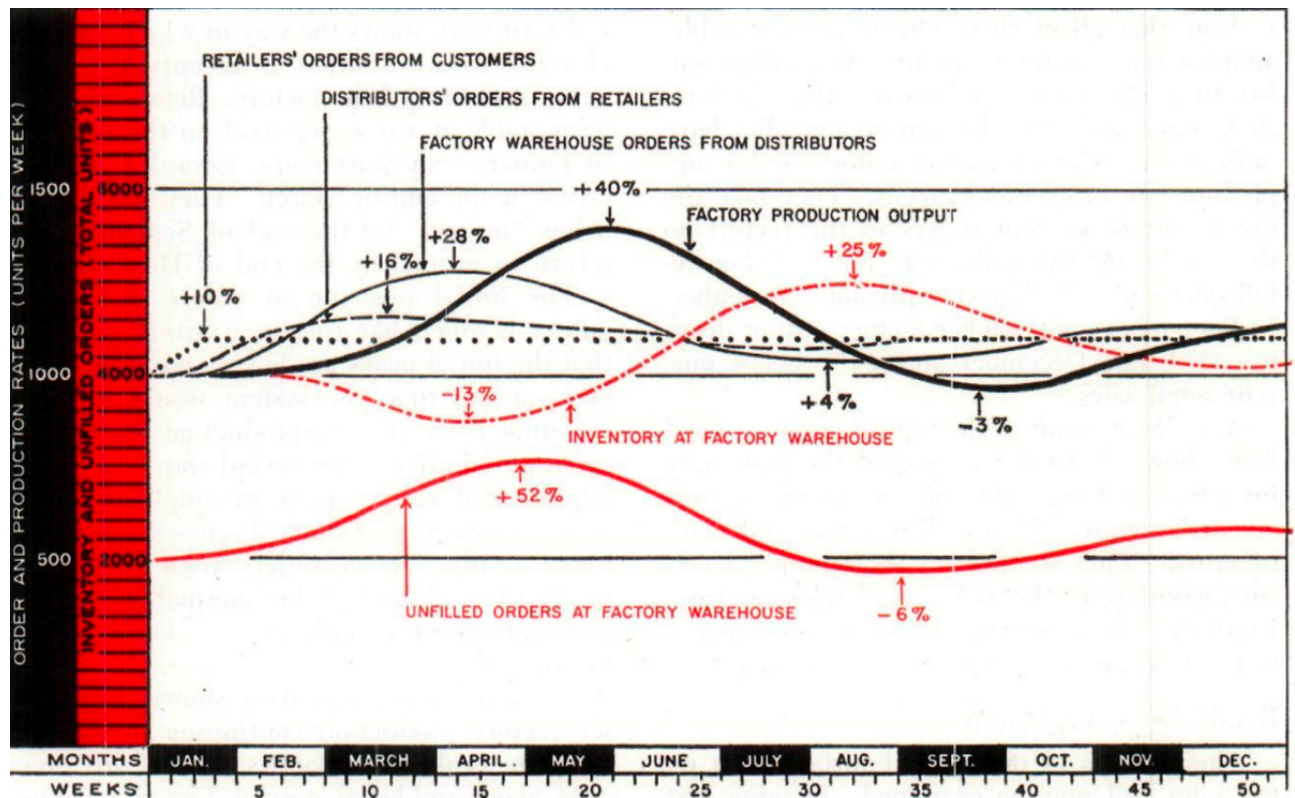
Управління поставками є мультидисциплінарною областю знань, де математичні методи тісно вплетені в бізнес методології та практики. Одним із найпоширених застосувань наукових методів є задачі з оптимізації запасів, побудови дистрибуційної мережі, які відносяться до категорії детермінованих моделей та досить вправно вирішуються методами лінійного програмування. Клас задач з прогнозування попиту, планування, організації виробництва належить до категорії невизначених моделей, які вирішуються методами статистики, теорії ігор, теорії масового обслуговування та, в останній час, машинного навчання. Слід відзначити, що незважаючи на велику кількість досліджень та теоретичних моделей, вони не набули широкого практичного застосунку. Окрім того, що такі моделі мають описувати індивідуальну поведінку учасників мереж поставок на підставі їх власних уподобань є щонайменше дві причини, які можуть пояснити відірваність досліджень від практики – по-перше, більшість моделей описують відносини в рамках ланцюгів, в той час як реальні взаємодії проходять в мережах; по-друге, пропонуються як універсальні моделі, але не враховують складність або відмінності різних типів мереж.

Загалом можна стверджувати, що задачі, які описуються детермінованими моделями, обмежені класом задач, в яких є максимум два учасника – тобто, як правило, обмежені задачами на рівні одного підприємства. З іншого боку, сучасні виклики бізнесу пов'язані з організацією розподілених мереж поставок, що дало поштовх для бурхливого росту досліджень на базі агентних систем.

1.3. Beer Distribution Game як експериментальна модель для ілюстрації результатів неузгодженості дій учасників ланцюгів поставок

В 1960 році в Дж.Р. Форрестер з MIT Sloan Management School запропонував експериментальну гру, яка стала результатом його роботи з динаміки систем на запит General Electric. В другій половині 50-х General Electric звернулися до Форрестера з проблемою пов'язаною з надвеликими коливаннями в виробництві на одному з їх виробництв у порівнянні з попитом. За результатом дослідження цієї проблеми, в 1958 Форрестер опублікував в Harvard Business Review статтю, в якій на прикладі моделі з трьох учасників ланцюга поставки, виробника, дистриб'ютора та роздрібного продавця, продемонстрував як незначні коливання в попиті викликають кратні коливання в формуванні заказів далі по ланцюгу.



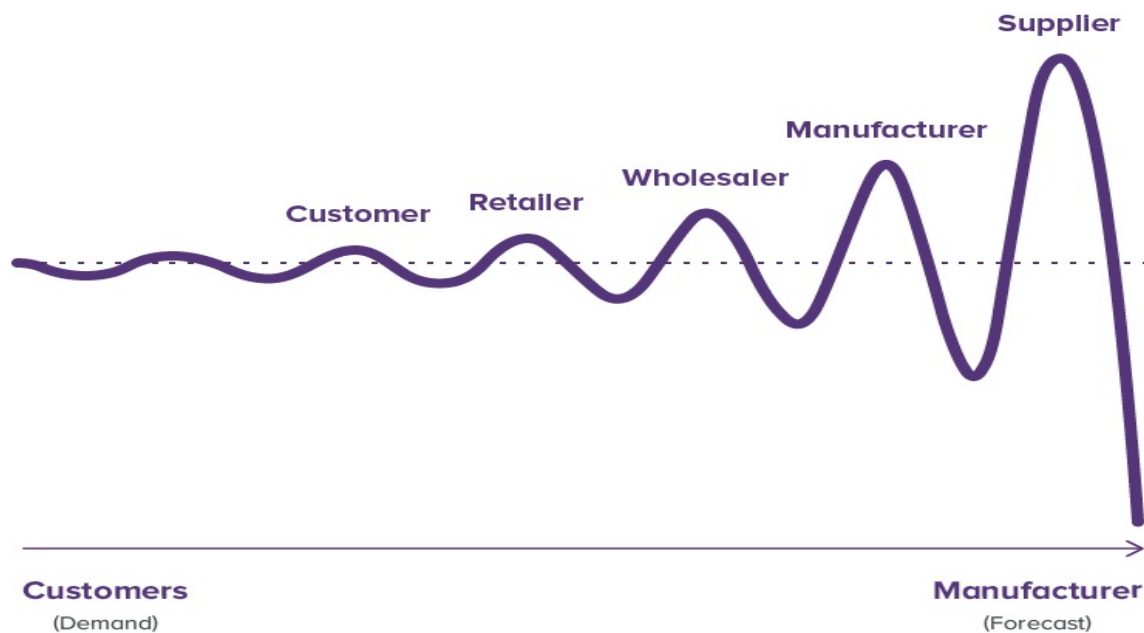


Одразу ігрову симуляцію почали використовувати в навчальних курсах університету, але вперше назву Beer Distribution Game застосував професор Мілер в 1973 році.

В 1989 році Джон Штерман, професор MIT в своїй статті в Management Science виклав результату експериментів симуляції за участі чотирьох учасників, яка стала відома як класична або стандартна Beer Distribution Game.

Умова гри передбачає участь чотирьох учасників ланцюга поставок (Виробник, Дистриб'ютор, Гуртовий торговець, Роздрібний торговець), які з однаковою періодичністю роблять замовлення відповідно до замовлень, отриманих від наступного учасника. Попит кінцевого покупця моделюється випадково від 0 до 10 за допомогою карт.

Незважаючи на простоту цей експеримент є наглядною демонстрацією проблем в управлінні поставками, центральна з яких получила назву ефект батігу (bullwhip effect).



Ефект батігу виникає через неузгодженість дій учасників ланцюга поставок, коли незначні зміни в попиті приводять до значно вищих об'ємів заказів у наступних учасників. Під час експериментів в MIT Sloan Management School розбіжність заказів між кінцевими учасниками сягала 900%.

1.4. Можливі засоби зниження ефекту батіга

На жаль, експериментальна гра лише демонструє механізм виникнення неефективності та не пропонує інструментів її усунення. Проте, можна виділити наступні причини виникнення ефекту батігу:

- формування страхових запасів
- здійснення заказів більше поточного попиту
- збільшення довжини ланцюга поставки
- коливання цін
- політика безкоштовного повернення товарів
- запізнення отримання інформації про попит
- порушення строків постачання

Незважаючи на те, що це не кінцевий перелік причин, а деякі з цих причин взаємопов'язані, вони допомагають визначити основні способи зниження ефекту батігу:

- скорочення інформаційних ланцюгів між виробником та споживачем

- обмін поточною інформацією про попит між учасниками
- наскрізне управління запасами
- частіші замовлення в меншому об'ємі

1.5. Огляд наукових досліджень Beer Distribution Game

Beer Distribution Game одразу стала класичною проблемою управління поставками, яка є об'єктом великої кількості наукових досліджень та експериментів – якщо спочатку ця задача була описана за допомогою інструментів моделювання динамічних систем, то з початку 2000-х років вона активно досліджується інструментами агентного моделювання. В своїй науковій роботі “Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics” (1997) Марта Купер відзначає, що ефект батігу є проблемою координації між автономними учасниками ланцюгів, які можуть бути розглянуті як агенти.

Серед напрямків досліджень можна виділити наступні:

- відтворення класичної гри за допомогою різних інструментів моделювання мультиагентних систем або динамічних систем
- моделювання систем в поєднанні з методологіями управління, наприклад теорії обмежень
- моделювання з різними умовами взаємодії між учасниками, наприклад із поширенням інформації, прийняттям спільних рішень, використанням однакових або різних політик управління запасами
- розширення варіанту лінійних відносин між учасниками до мережевих, виявлення типових видів мереж поставок та аналіз відмінностей в динаміці взаємодії їх учасників.

Як вже було раніше зазначено проблема, яку розглядає до Beer Distribution Game, відноситься до експериментальної галузі науки, тому підтвердженням справедливості результатів таких наукових методів є повторні експерименти з схожими результатами. Урі Віленські, розробник мови програмування Netlogo, відокремлює шість вимірів, в яких відтворювана модель може відрізнятися від оригінальної:

- автор
- обладнання
- мова
- інструменти
- алгоритми
- час

Звісно, що для кваліфікації повторного експерименту достатньо щоб відрізнявся час, але для широкого визнання результатів необхідні більш різноманітні підтвердження. Саме тому, проблеми галузі організації поставок, які не знайшли практичного рішення традиційними математичними засобами лінійного або нелінійного моделювання, викликають чималий інтерес серед фахівців в області динамічних систем та мультиагентних систем. Ймовірно з урахуванням інтересу до проблеми ефекту батігу і важливості експериментальних підтверджень симуляція Beer Distribution Game входить в базову бібліотеку моделей Netlogo.

Зважаючи на значний зріст досліджень проблем постачання за допомогою мультиагентних систем моделювання варто проаналізувати чи мають такі методи переваги над традиційними підходами. Системи постачання ґрунтуються на об'єднанні неоднорідних підсистем, які складаються з автономних учасників, кожен з яких просуває свої власні цілі з урахуванням внутрішніх та зовнішніх обмежень. Тобто такий учасник може розглядатися як агент з наступними властивостями:

- автономність: компанія самостійно виконує свої задачі без зовнішнього втручання, контролює свої дії
- має соціальні навички: може взаємодіяти з іншими компаніями
- реактивність: компанія оцінює зовнішню середу та може відповісти на зміни в ній
- проактивність: компанія не лише реагує на зміни в зовнішній середі, але й сама може ініціювати зміни, наприклад вийти на нові ринки або з новим продуктом.

Мультиагентні системи дозволяють змоделювати системи виробництва, які скоріше децентралізовані, ніж централізовані; такі що розвиваються, а не

розплановані; паралельні, а не послідовні. Тому використання мультиагентних систем дозволяє вийти з під обмежень централізованого, планового, послідовного контролю. Звісно, використання мультиагентних систем не може бути єдиним рішенням для будь-яких випадків. В наступній таблиці порівнюються переваги та недоліки використання агентних та традиційних методів моделювання:

	Автономні агенти	Традиційні системи
Типи систем	Економічні, біологічні	Ієрархічні, військові
Відносні переваги традиційних систем моделювання		
1. Чи є теоретичний оптимум? 2. Рівень прогнозу 3. Обчислювальна стабільність	Ні Агрегований Низька	Так Індивідуальний Висока
Відносні переваги агентних систем моделювання		
4. Відповідність реальності 5. Вимога до централізації даних? 6. Реакція на зміни 7. Здібність системи до переналаштування 8. Складність програмного забезпечення 9. Вимоги до часу планування	Висока Ні Стійка Легко Просте В реальному часі	Низька Так Крихка Важко Складне Повільно

Таким чином, можна відзначити, що мультиагентні системи моделювання слід використовувати для задач, які є модульними, децентралізованими, неструктурованими, складними та такими, що змінюються.

1.6. Порівняння системи постачання з іншими розподіленими системами

Ефект батігу не є унікальною проблемою в тому сенсі, що розглядаючи інші розподілені системи можна виділити подібність між ними, яка може бути корисною при пошуку рішень. Не маючи на меті глибокого аналізу, нижче приводиться порівняння кількох розподілених систем для ілюстрації можливого перетину проблем і рішень.

Розподілені системи	Потік	Вузли	Прояв нестабільності
1. Ланцюг поставок	Закази та поставки	Компанії та кінцеві покупці	Ефект батігу
2. Комп'ютерні мережі	Інформація	Комп'ютери	Скупчення
3. Мережа доріг	Машини на дорозі	Міста	Пробки
4. Електронні схеми	Напруга	Електронні компоненти	Перегорання
5. Організації людей	Задачі	Люди	Дефіцит ресурсів
6. Економічні системи	Гроші, задачі, інформація	Люди, компанії, держави	Кризи, інфляція

2. Застосування наукових методів для зменшення ефекту кнута в управлінні поставками

2.1. Напрямки застосування наукових досліджень.

Як вже було відзначено основними засобами зменшення ефекту батігу є:

1. скорочення ланцюгів між виробником та споживачем
2. обмін інформацією між учасниками
3. наскрізне управління запасами
4. зменшення об'ємів заказів за рахунок частіших заказів

Серед можливих рішень щодо першого напрямку може розглядатися побудова фізичної мережі поставок таким чином, щоб скоротити проміжні ланцюги.

Зважаючи на те, що в загальному випадку задача скорочення ланцюгів має на меті пришвидшити передачу інформації від споживачів до виробників, значна кількість досліджень сфокусована на виявленні переваг для систем де є обмін інформацією між учасниками і механізмами розподілу таких переваг для запровадження стійких стимулів для обміну інформації. Наступна група досліджень – ефективність різних методів управління запасами в умовах обмеженого обміну інформації, серед яких найбільш поширений Drum-Buffer-Rope запропонований в теорії обмежень Еліяху Голдрата.

Слід зауважити, що існує багато критики використання моделей на базі оригінальної Beer Distribution Game, які пов'язані з тим, що оригінальна модель розглядає лінійні відносини між учасниками. Тому окремим напрямком досліджень є розширення оригінальної моделі, наприклад з участю кількох гуртових торговців або симуляція концепції extended enterprise, коли декілька учасників об'єднані спільними цілями.

Далі ми розглянемо декілька прикладів таких досліджень.

2.2. Приклади використання мультиагентних систем в рішенні задач організації поставок

Нижче наведені декілька прикладів використання агентних технологій в задачах по організації поставок, які можна розділити на дві категорії – задачі по управлінню поставками та задачі дизайну мереж поставок.

DragonChain – проект був розроблений в Університеті Пенсільванії, США для симуляції проблем управління ланцюгами поставок, зокрема зменшення ефекту батігу. Для симуляції використовували стандартну версію Beer Game та Columbia Beer Game, де агенти шукають найкращу схему заказів за допомогою генетичних алгоритмів.

Agent Building Shell – проект Університету Торонто, Канада, в рамках якого було розроблено програмне забезпечення для побудови агентних систем. Агенти мають чотири шари – управління знаннями, онтології, взаємодії та вирішення конфліктів.

MetaMorth II – проект розроблений в Університеті Калгарі, Канада. Агенти формують федерації навколо посередників, які мають дві ролі – дозволяють агентам знайти друг друга та координують агентів.

NetMan (NETworked MANufacturing) – проект Університету Лаваль, Канада. Формалізує об'єднані в мережу організації та виробничі операції щоб отримати адаптивні виробничі мережі. На відміну від DragonChain в цьому проекті використовували реальні мережі поставок, а не модель Beer Game.

ВРМАТ – бібліотека розроблена IBM для моделювання діяльності компанії на базі досліджень Університету Карнегі Меллон, США щодо пошуку елементів притаманних будь-якому ланцюгу поставок.

MASCOT (Multi-Agent Supply Chain cOrdination Tool) – інструмент для планування та дизайну гнучких мереж поставок. Дозволяє координувати виробництво серед декількох об'єктів, оцінює рішення щодо дизайну, запуску нових продуктів, вибору постачальників з урахуванням потужностей та обмежень щодо матеріалів для всій мережі поставок. Також як і ВРМАТ це розробка Університету Карнегі Меллон, США.

DASCh – проект Інституту Дослідження Навколишньої Середи (ERIM), США, в якому моделювали недосконалість потоків продуктів та інформації в мережах поставок.

The Task dependency network – асинхронний, децентралізований протокол для розміщення та планування задач серед агентів, які борються за обмежені ресурси. Протокол дозволяє моделювати формування мереж поставок.

MASC – досліджує способи координації між компаніями ланцюга поставок. Координація здійснюється за допомогою запитів на розміщення, де розміщувач відповідає з урахуванням власних потужностей та навантаження. Компанія, яка виграла аукціон, поставляє продукцію до наступного споживача ланцюга поставок. Дослідження було зроблено в Університеті Марселя, Франція.

OCEAN (Organization and Control Emergence with an Agent Network) – система з відкритою, децентралізованою архітектурою, яка включає чутливість та розподіл виробничих ресурсів та технічної інформації. Система була розроблена для реагування на динаміку навколишнього середовища, щоб продемонструвати, що кооперація на глобальному рівні може виникнути на базі конкуренції на локальному рівні. Проект був розроблений в Університеті Монпельє, Франція та INSA of Lyon, Франція.

Проект	Проблема, яка досліджується	Підхід	Кількість та роль агентів
1. DragonChain	Управління (Bullwhip effect)	Генетичні алгоритми для пошуку оптимальної політики заказів	1 агент/компанія
2. Agent Building Shell	Управління (Coordination)	COOrdination Language (COOL)	1 агент/компанія
3. MetaMorph	Управління (Coordination)	Агенти-посередники	1 агент/компанія + агенти посередники
4. NetMan	Управління (Intra- and inter- company)	Координація за допомогою контрактів	1 агент/виробнича одиниця

	operations management)	(Convention, Agreement and Transaction (CAT) formalism)	
5. BPMAT	Моделювання (Пошук спільних елементів для всіх ланцюгів поставок)	Порівняння трьох абсолютно різних ланцюгів поставок	BPMAT моделі
6. MASCOT	Управління (Agility increase)	Порівняння декількох політик координації	1 агент/компанія
7. DASCh	Управління (supply chain modelisation techniques)	Затримки та невизначеність потоків, які змодельовані як агенти	2 агента/компанія + 1 агент/потік
8.Task dependency network	Дизайн & управління (Partner selection)	Порівняння аукціонних протоколів	1 агент/компанія
9. MASC	Дизайн (Partner selection)	Аукціонний протокол з обмеженнями	1 агент/компанія + 2 управляючих агента
10. OCEAN	Управління (Global cooperation emerging from local competitions)	Система переговорів в мультиагентній контрактній мережі	1 агент/компанія (1 агент = система 6 агентів)

2.3. Координація учасників ланцюгів постачання як ключовий спосіб зменшення ефекту батігу

Як вже було зазначено раніше ефект батігу є проблемою координації між учасниками ланцюгів поставок. В теорії мультиагентних систем поширені три класи координаційних технік:

- координація на базі комунікацій
- координація на базі договорів
- координація на базі навчання.

Комунікативна координація дозволяє агентам з'ясувати що їм краще зробити – не турбувати один одного або працювати спільно. Прикладом такої координації є різноманітні форми аукціону. Більш складним прикладом можна назвати Partial Global Planning – ітеративний процес створення, координації та виконання планів. Важливим є те, що рішення приймаються незважаючи на

недостатність або навіть відсутність інформації щодо середовища – агенти генерують плани, які (1) часткові, тобто не для всієї системи, та (2) глобальні, т.я. базуються на нелокальному погляді на проблему. Нелокальний погляд виникає завдяки комунікації – кожний агент обмінюється своїми планами, взаємодіє з іншими агентами для побудови нелокального бачення системи, кращого ніж агент міг би отримати безпосередньо за допомогою своїх сенсорів.

Договірна координація визначає соціальні закони, які агенти мають виконувати або слідувати. Прикладом може бути правила дорожнього руху. Взагалі, якщо кожен агент слідує законам, система має бути добре координованою. Таким чином задача дизайнера мультиагентної системи визначити такі закони.

Навчальна координація – клас технік, де агенти вчаться жити один з одним таким чином, щоб максимізувати власну корисність в поточних умовах. Такі техніки широко використовують інструменти штучного інтелекту, наприклад, Q-learning, Байєсові мережі, розширення Марківського процесу вирішення.

Прикладами координації серед учасників ланцюгів поставок є:

- дисконти
- спільна оптимізація
- контракти
- контроль потоків.

Дисконти – простий інструмент, який дозволяє постачальникам створювати стимули для оформлення більших заказів.

Спільна оптимізація передбачає взаємодію, як правило, не більше двох учасників, для мінімізації загальних витрат на логістику за рахунок централізації певних рішень.

У випадку **контрактів** кожна компанія зобов'язується виконувати певні дії або заплатити штраф у разі невиконання. Контракт може виступати координатором, якщо містить набір дій компанії оптимальних за рівновагою Неша.

Наведені вище методи координації базуються на оптимізації прибутку. На відміну від них **контроль потоків** виходить із цілі контролю поставок продукції через систему виробництва. Грошові метрики відходять на другий план після метрик ліквідності потоків, які визначають ефективність системи.

2.4. Приклад симуляції: застосування теорії обмежень для зменшення ефекту батігу за допомогою агентного моделювання

José Costas, Borja Ponte, David de la Fuente, Raúl Pino, Julio Puche в своїй роботі «Applying Goldratt's Theory of Constraints to reduce the Bullwhip Effect through agent-based modeling» запропонували аналіз застосування теорії обмежень для традиційного варіанта Beer Distribution Game – лінійного ланцюга поставок для одного продукту. Сама модель реалізована в Netlogo і використовує два методи управління запасами – стандартний та згідно методу Drum-Buffer-Rope. При чому в ролі Drum виступає роздрібний магазин, який є обмеженням в цьому ланцюгу.

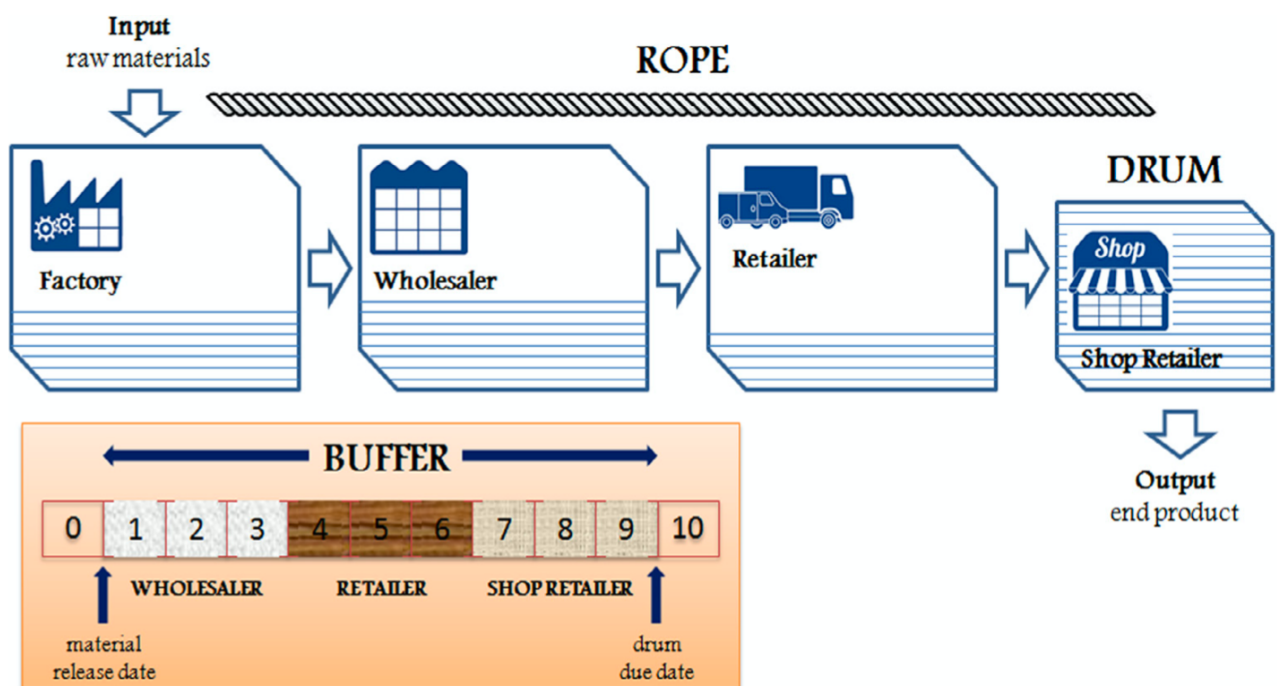


Рисунок 2.

Результати моделювання показали, що незважаючи на те, що застосування теорії обмежень не виключає ефект батігу в формуванні заказів, його наслідки значно менші в порівнянні з стандартною політикою управління запасів.

Наглядною ілюстрацією є порівняння графіків виробництва для двох підходів в управлінні запасами при однакових умовах моделювання.

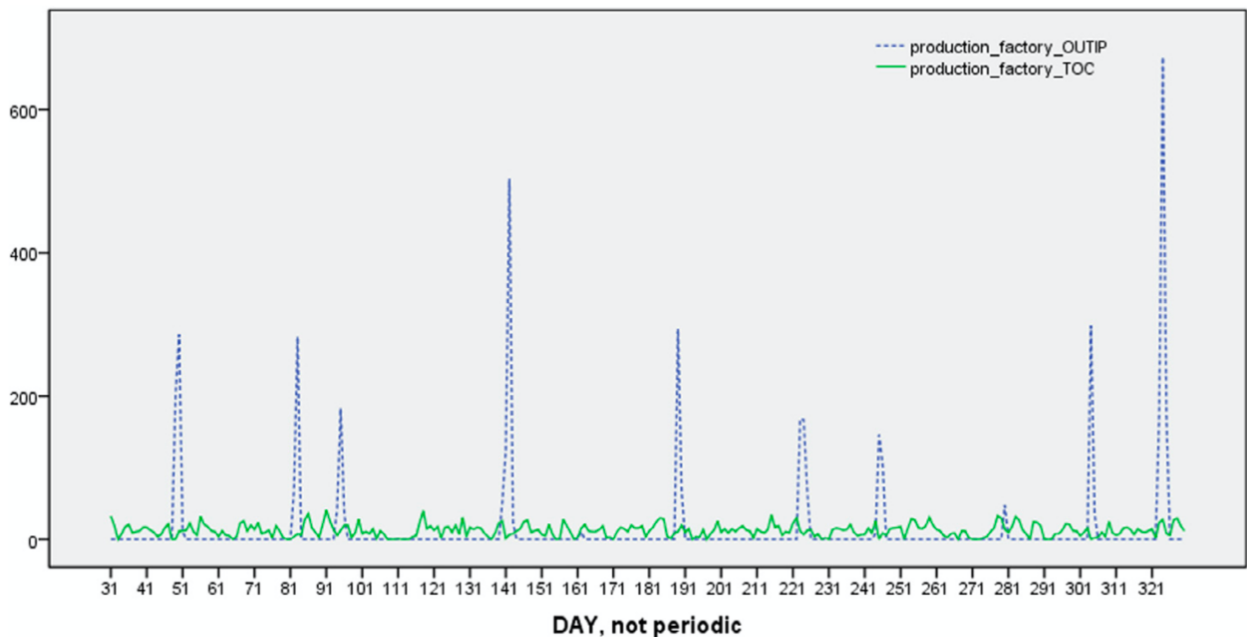


Рисунок 3.

Незважаючи на те що, в цій роботі була розглянута лінійна модель постачання одного продукту, вона продемонструвала безумовну перевагу практичного застосування теорії обмежень - не ускладнюючи систему додатковими вимогами до обміну інформації, метод дозволяє підняти ефективність на кожному рівні ланцюга.

2.5. Напрями досліджень з використанням симуляції Beer Distribution Game

Приклад наведений вище з застосуванням теорії обмежень скоріше не є типовим серед різноманіття моделювання мереж поставок тому, що в цьому випадку теоретичне моделювання підтвердило ефективність широко розповсюдженого практичного підходу.

Якщо розглядати дослідження, які намагаються зробити теоретичні винаходи в області управління поставками корисними для практиків, можна виділити наступні напрями:

- порівняння та ефективність методів координації учасників ланцюгів поставок
- порівняння та ефективність основних методів управління запасами та заказами
- порівняння та ефективність поширення інформації (яка сама інформація поширюється і як обробляється)
- порівняння різних конфігурацій мереж поставок.

Загальні висновки таких досліджень наступні:

1. Навіть при моделюванні використання інструментів координації учасників або управління заказами на підставі поширеної інформації про попит не вдається повністю уникнути ефекту батігу. Хоча його наслідки, які проявляються в варіативності коливальних замовлень та запасів, можуть бути зменшені на кілька порядків.
2. Зважаючи на комплексність реальних мереж поставок на практиці неможливо використовувати результати, наприклад, моделювання різних підходів в управлінні заказами без врахування того, яка конфігурація мережі поставок або порядок координації, якщо є.
3. З іншого боку, завдяки досить розвиненому апарату моделювання мультиагентних систем, фахівці не обмежуються експериментами суто в одному напрямку, а досліджують перетин двох і більше напрямів.

3. Огляд платформ для моделювання мультиагентних систем

Існує значна кількість інструментів моделювання мультиагентних систем, які відповідають різним рівням складності систем, особливостям об'єктів моделювання або складністю побудови моделей.

Computational Modelling Strength / Models' Scalability Level	Model Development Effort		
	Simple/Easy	Moderate	Complex/Hard
Extreme-scale			Repast HPC MATSIM, PDES-MAS, Swarm
High / Large-scale	Altrevia Adaptive Modeler, SeSAM	AnyLogic (2D/3D), AOR Simulation, CloudSim, CybelePro, FLAME, LSD (2D/3D), MASS, Pandora, UrbanSim	Agent Cell (2D/3D), Brahms, BSim (2D/3D), D-OMAR, Echo, Ecolab, FLAME GPU (3D), GridABM, HLA_Agent, HLA_RePast, Repast-J or Repast-3, Repast Symphony (2D/3D)
	NetLogo (2D/3D)	Ascape, CRAFTY, GAMA (2D/3D), SimEvents (MATLAB®), Simio (2D/3D), Simul8 (2D/3D)	MASON (2D/3D)
Medium-scale	JAS, VSEdit	Agent Factory, Breve (3D), Cormas, Envision, GALATEA, IDEA, JAMSIM, Janus, JASA, JAS-mine, MACSimJX, Mathematica® (Wolfram), Mimoso, MIMOSE, Mobility Testbed, Modgen, OBEUS, SimAgent, SimBioSys, TerraME, Xholon (2D/3D)	DigiHive, MASyV (2D/3D)
	AgentSheets, BehaviourComposer (2D/3D), FlexSim (2D/3D)	Eve, ExtendSim (2D/3D), GROWLab, Insight Maker, Mesa	
Light-weight / Small-scale	AgentScript, Framsticks (2D/3D), JAMEL, JCASim (1D/2D/3D), JES, MOBIDYC, PedSim, PS-I, Scratch (2D/3D), SimJr, SimSketch, SOARS, StarLogo, StarLogoTNG (3D), Sugarscape, VisualBots	SEAS (2D/3D)	

Аналізуючи дослідження симуляції Beer Distribution Game можна виділити чотири найбільш поширені програмних забезпечення, які використовуються для моделювання мульти-агентних систем:

REPAST (Recursive Porous Agent Simulation Toolkit)

(<http://repast.sourceforge.net/>), розробка Університету Чикаго.

SWARM (http://www.swarm.org/wiki/Main_Page),

розробка Університету Санта-Фе

Netlogo (<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>),

розробка Північно-Західного Університету

JACK (<https://www.aosgrp.com/products/jack/>),

розробка Agent Oriented Software.

Маючи на меті повторювання експериментів, їх модифікацію для порівняння результатів іншими дослідниками, для побудови власної моделі рекомендовано вибрати Netlogo як таку, що дає найкращі можливості залучити широку аудиторію з різним досвідом пропонуючи при цьому потужний інструментарій.

NetLogo дозволяє досліджувати виникаючі явища, в особливості для моделювання розвитку складних систем протягом часу, які можуть складатися з тисяч незалежних агентів, що робить можливим аналіз зв'язків між мікро рівнем поведінки агентів та патернів, які виникають на макро рівні систем взаємодій агентів.

Висновки та постановка задачі

На підставі проведеного аналізу можна стверджувати, що

- проблеми управління поставками є актуальними
- зважаючи на складність проблем і характер взаємовідносин всередині систем застосування методів моделювання мультиагентних систем та динаміки систем відповідає задачам
- моделювання мультиагентних систем є експериментальною галуззю науки, тому для практичного визнання результати моделювання повинні підтверджуватися результатами подібних наступних експериментів
- в широкому сенсі моделювання систем поставок має запропонувати спосіб координації між учасниками мереж поставок для уникнення або зменшення ефекту батігу.

З урахуванням вищенаведеного пропонується дослідити та побудувати модель за допомогою Netlogo, яка:

- запропонує механізм координації учасників мережі поставок, який зменшить ефект батігу
- продемонструє зацікавленість всіх учасників мережі поставок в координації з іншими
- дозволить вільно обирати кількість агентів та налаштовувати топологію мережі (або обирати серед основних видів)
- дозволить по оцінити вплив застосування механізмів координації для різної кількості агентів на індивідуальні результати агентів та агреговані результати всієї системи.

Список літератури

Cooper, Martha C.; Lambert, Douglas M.; and Pagh, Janus D. (1997), "Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics", *International Journal of Logistics Management*, Vol 8 No 1, 1997, p. 1-14.

D'Atri, Alessandro, et al. "From supply chains to supply networks: the beer game evolution." *IFAC Proceedings Volumes* 42.4 (2009): 1316-1321.

Demirel, Güven. SUPPLY CHAIN MODELING AND ANALYSIS AT ALTERNATIVE LEVELS OF AGGREGATION. Diss. Boğaziçi University, 2008.

Guimarans, Daniel & Petuhova, Julija & Merkurjev, Yuri & Ramos, Juan. (2010). Supply chain simulation methods analysis: an application to the Beer Game. *International Conference on Harbour, Maritime and Multimodal Logistics Modelling and Simulation*. 1.

José Costas, Borja Ponte, David de la Fuente, Raúl Pino, Julio Puche, Applying Goldratt's Theory of Constraints to reduce the Bullwhip Effect through agent-based modeling, *Expert Systems with Applications*, Volume 42, Issue 4, 2015, Pages 2049-2060, ISSN 0957-4174, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.10.022>

Julio Puche, José Costas, Borja Ponte, Raúl Pino, David de la Fuente, The effect of supply chain noise on the financial performance of Kanban and Drum-Buffer-Rope: An agent-based perspective, *Expert Systems with Applications*, Volume 120, 2019, Pages 87-102

Hearnshaw, Edward JS, and Mark MJ Wilson. "A complex network approach to supply chain network theory." *International Journal of Operations & Production Management* (2013).

Lane, David C. and John D. Sterman (2011) Jay Wright Forrester. Chapter 20 in *Profiles in Operations Research: Pioneers and Innovators*. S. Gass and A. Assad (eds.). New York, Springer: 363-386.

Lee, H. L., Padmanabhan, V., and Whang, S. (1997a). The bullwhip effect in supply chain. *Sloan Management Review*, 38(3):93–102.

Lee, H. L. and Whang, S. (1998). Information sharing in a supply chain. Research paper No 1549, Graduate school of business, Stanford university.

Kravari, Kalliopi and Bassiliades, Nick (2015) 'A Survey of Agent Platforms' *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 18 (1) 11
<<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/18/1/11.html>>. doi: 10.18564/jasss.2661

Kimbrough, S. O., Wu, D. J., & Zhong, F. (2002). Computers play the beer game: can artificial manage supply chains? *Decision Support Systems*, 33, 323–333.

Martinez-Moyano, Ignacio & Rahn, Joel & Spencer, Roberta. (2020). The Beer Game: Its History and Rule Changes.

Moyaux, Thierry. "Design, simulation and analysis of collaborative strategies in multi-agent systems: The case of supply chain management." (2004).

Sameera Abar, Georgios K. Theodoropoulos, Pierre Lemarinier, Gregory M.P. O'Hare, Agent Based Modelling and Simulation tools: A review of the state-of-art software, *Computer Science Review*, Volume 24, 2017, Pages 13-33

Sarkar, Bidyut Biman, and Nabendu Chaki. "A distributed retail beer game for decision support system." *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 65 (2012): 278-284.

Sterman, John D. "Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment." *Management Science*, vol. 35, no. 3, 1989, pp. 321–339. *JSTOR*, www.jstor.org/stable/2631975.

Sterman, John. (1989). Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment. *Management Science*. 35. 321-339. 10.1287/mnsc.35.3.321.

North, M.J., Macal, C.M. The Beer Dock: Three and a Half Implementations of the Beer Distribution Game. SwarmFest 2002.

Wilensky, Uri and Rand, William (2007). 'Making Models Match: Replicating an Agent-Based Model'. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 10(4)2
<<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/10/4/2.html>>

Zhu, Xiaozhou. Agent based modeling for supply chain management: Examining the impact of information sharing. Diss. Kent State University, 2008.