

# 物流におけるラストマイルに関する改善提案とシミュレーション分析

## Improvement scheme and simulation analyses of last mile in logistics

経営システム工学専攻

侯辰浩

### 1. 緒言

中国全国の物流件数は2017年の400.6億件から2020年の833.6億件に増加した(中国国家郵政局, 2020)。ただし、業務量の増加が物流会社にもたらすのは、利益率の上昇だけではない。物流会社は、通販市場の市場占有率のために、値下げを余儀なくされる。コスト削減のために、80%以上の荷物が指定場所に配送され留め置かれて、その後、顧客は自分で取りにいかないといけない状況になった。その結果、顧客の満足度もどんどん低下するという事態になっている。中国の物流企業「YTO Express」の2019年度の財務諸表では、ラストマイルのコストは全体コストのおよそ44%を占めている。この状況下で、ラストマイルの業務の効率を上げることができれば、人件費などのコストも低減させて、顧客の手元に届くまでのサービス時間も余裕があるようになるだろう。

本研究では、中国大手物流会社「YTO Express」の許可を得て上海市内の物流センターを研究対象とする。この物流会社では、「ラストマイル業務」と呼ばれる業務には、荷物が物流センターに到着した後の仕分けと、顧客の手元までの配送の2つのプロセスが含まれている。これらの2つのステップに着目し、それぞれに関して改善提案をして、その効果を検証する。

### 2. 物流センター内の改善とシミュレーション分析

中国上海市にある物流センターを訪問し、物流センター業務量データ、配達員の配達リスト、人員配置のデータと監視カメラのビデオ録画を入手した。物流センターでレイアウトのデータを測定した。監視カメラのビデオで作業時間などのデータを測定した。収集したデータから見ると、改善すべきところは2つがある。1つ目はすべて仕分け作業が終わらないと荷物を選別し、トラックに詰め込むなどの作業が始まらないことである。2つ目は、パッケージをトラックまでに運搬して詰め込むには大変時間がかかることである。この2つの問題を解決するために最もよい方法は自動仕分けシステムを導入することである。このシステムの導入により、パッケージが仕分けされている場合にも、配達員たちは配達スキャンや選別の作業を始められるし、コンベアが直接トラックと繋がるので、運搬する作業も不要になる。

次に、自動仕分けシステムが作業の時のデータを測るために、すでに自動仕分けシステムを使っている物流センターに測定した。収集したデータを用いて、現在の物流センターの構造や人員配置の上に、場内の構造や作業SOP、人員配置などを自動仕分けシステムが導入できるように設計した。これらの設計の上に、シミュレーションモデルを構築した。完成したモデルは図1に示す。

2番目に時間がかかる作業は配達員が自分の配送地域のパッケージの住所についての選別作業である。この作業に関する改善案は、伝票で書いてある顧客の住所からPOIの文字を特定して、大きく表示することである。この考え方に従って、2種類の方法について実験をした。「Jieba」を使った中国語形態素解析は、入力への誤りなどの問題があれば解析率が下がるので、「Bi-LSTM」を使った固有表現認識の方法を採用したオープンソースの解析器「Hanlp」を利用することにした。その結果、解析率は71%になった。そして、新しい作業時間について推定し、モデルで実験を行った。95%の信頼区間を取り、50回の反復実験を設置して、自動仕分けシステムだけを導入するモデルと自動仕分けシステムの上にPOI解析器を導入するモデルの実行結果は表1にまとめた。自動仕分けシステムだけの時、全部の作業が終わる平均の時間が $72.59 \pm 0.93$ 分になり、POI解析器を導入すると、平均作業時間は $71.89 \pm 0.85$ になる。

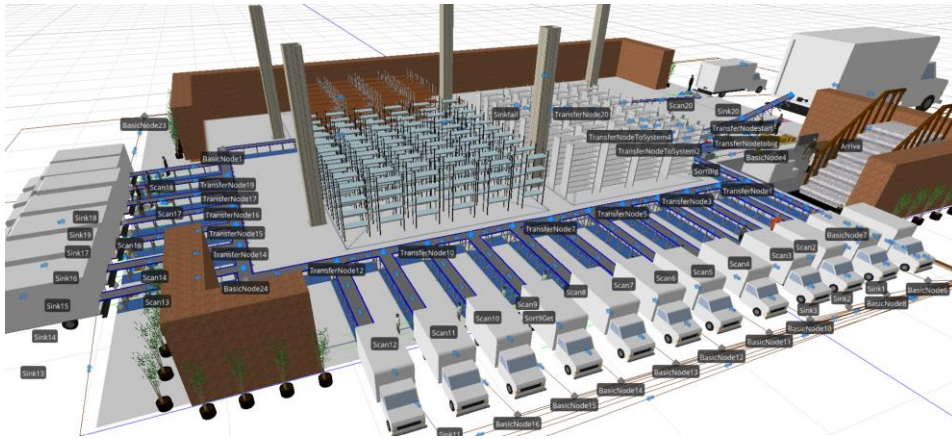


図 1 自動仕分けシステムを導入した物流センターのシミュレーションモデル

表 1 POI 解析導入前後のシミュレーション結果の比

|             | 自動仕分けだけ (分) | 自動仕分けと POI 抽出 (分) |
|-------------|-------------|-------------------|
| パッケージ平均滞在時間 | 3.79±0.16   | 3.71±0.16         |
| 業務最短時間      | 67.93±0.93  | 66.78±0.85        |
| 業務最大時間      | 87.50±0.93  | 80.77±0.85        |
| 業務平均時間      | 72.59±0.93  | 71.89±0.85        |

### 3. 配送ルートの改善

本研究の配送ルートは配達員が物流センターから出発しはそう業務が終わったら物流センターに戻るルートであるので、巡回セールスマン問題になる。Hosam (2015) は、巡回セールスマン問題における蟻コロニー最適化、遺伝的アルゴリズム、アニーリング法、3つのアルゴリズムで計算している、その結果を比較した。また、李 (2008) は31個の中国の都市のデータを使い、巡回セールスマン問題として、この3つのアルゴリズムで比較した。この2つの研究結果によると、蟻コロニー最適化とアニーリング法は遺伝的アルゴリズムよりいい解を得られるため、この2つのアルゴリズムを TSPLIB に載ってあるデータで実験を行った。本研究は、CSDN に載ってあるアニーリング法と蟻コロニー最適化のプログラムを参考して本研究で適用なプログラムを編集した。さらに、アルゴリズム内のパラメータの調節による結果は全然違うことが多いので、今回パラメータの実験も行った。実験の結果としては、小規模のデータに対しては、アニーリング法で十分の循環回数と初期温度を設定すれば、安定した真の最適解に近い解が得られる。しかし、同じくの実行時間で、蟻コロニー最適化は今回の実験ではわずかに一回いい解が算出されるので、その安定性はアニーリング法に及ばない。そして、100以上の規模のデータに対しても蟻コロニー最適化は計算時間がかかるしいい解が出てくる確率もアニーリング法より低い。さらに、データの規模が変わるとき、蟻コロニー最適化はその規模の変化に対してすべてにパラメータを調節しないとけない、最適を得られるために、数多くの実験が必要である。今回の研究要求を考えるとアニーリング法を使うほうが効率はいいかもしれない。配達員の配達ルートを計算するには、届け先の住所の座標を確認しないとけない。然し、対象とする会社は自社開発の地図がない。そのため、ここで Baidu のサービスで顧客が書き込んだ住所からその位置を確定する。確定した点は46点があるので、実験で52点に対して一番いい結果が出るアニーリング法のパラメータの組み合わせ、初期温度 18000、温度下げ係数 0.99、循環回数 4500回で理論的なルートを計算した。計算したルートは図 2 に示す。

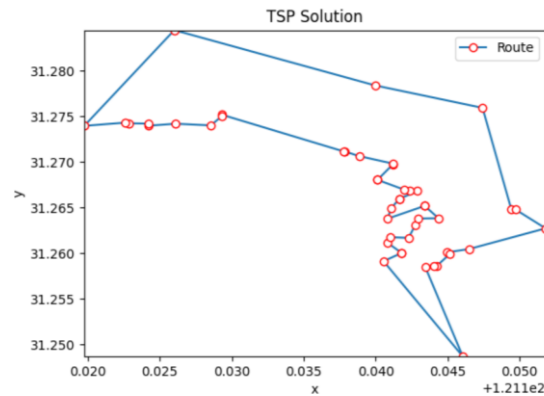


図2 アニーリング法で計算した理論的のルート

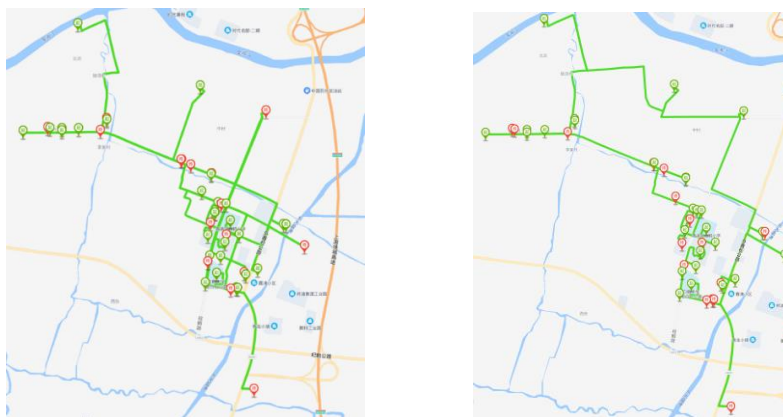


図3 実際配送したルートと改善後の現実ルートの比較

今回入手した配達員の配送リストは配達員実際配送して、配達完了スキャンで記録されたものになるので、そのままの順番は配送ルートである、このルートを Baidu の Api で計算して得られた総距離は 48040m である。出力したルートは図 3 の左側に示す。そして、アニーリング法で計算した理論的のルートを Baidu の Api で計算して得られた総距離は 24410m である。出力したルートは図 3 の右側に示す。

#### 4. 実験結果についての考察と今後の課題

現在の業務状況は平均 120 分、最大 150 分がかかる。この現状に対し、自動仕分けシステムの運用により、理論的に平均 39.5% くらいの効率を上げられる。自動仕分けシステムの実装により、パフォーマンスの大幅な向上が期待できるのであるが、多額の設備投資コストが必要である。

次に、POI 解析導入後のシミュレーション結果について、いずれの評価尺度に関しても、改善がみられた。これは、POI 解析器を運用した場合の作業時間の短縮によるものである。なお、両者の統計的な比較検定の結果により、POI 解析器の導入はシステム全体にはそれほど影響はないものの、個人の作業のレベルでは確実に影響を与えている。配達員に対して、住所確認の難易度が下げられ、一日の作業で体力なども節約できるだろう。さらに、この方法は自動仕分けシステムの導入のような多額の設備投資は必要ないので実際に適用するのがよい。

今後、POI 解析を実施する場合、住所の対応関係を設定したほうがよいかもしれない。なぜなら、すべての住所が POI を含んでいるわけではないからである。ここで、対応関係というのは、住所の番地を POI との対応関係、例えば「東京都文京区春日1-13-27」対応する POI は「中央大学理工学部」ということである。この対応関係を築くことができれば、ほぼすべての住所の POI を解析できるようになる。その時、今より多くの時間を節約できるだろう。そして、本研究にもう 1 つ問題が存在する。それは、改善後の選別作業の作業時間の推定である。本研

究では、著者自身が2種類の文字を確認し、その時間の差を配達員の実際の時間で引いて推定した。より厳密には、配達員が作業を行って時間データを収集することにより、実験を実施する必要がある。

ルート改善後、配達員のルートの変化を図3に示す。改善後の中心部のルートはかなり単純化されたことが分かった。距離上も総距離は48040mから24410mまで、約49.19%短縮した。ただし、この改善は配達員の実際のルートの上における改善である。配達員はこのルートを選択することには理由があるかもしれない。例えば、顧客の要望は変更がある場合、次のパッケージを先に配送しないとイケないし、あるいは、一定の時間になればまた戻ることによる距離の増加などが予想される。今後の課題としては、配達員にこのルートナビゲーションを受け入れることが挙げられる。その理由は、今の配達員はこういうシステムの操作や利用に抵抗があるからである。過去のデータを見ると、難しいシステムはだんだん配達員たちに敬遠され、しだいに使われないことになる。したがって、使いやすいシステムの構築と有用性のアピールは重要である。

## 5. 結言

実際の物流センターのレイアウト、業務、作業員の作業時間などのデータを収集して自動仕分けシステムを導入することにより、どの程度効率が向上するかについて定量的に分析した。さらに、自然言語処理の技術を応用して、POIの抽出作業の改善策を提案して、全体の業務にどの程度の効果をもたらされるかを分析した。シミュレーション分析を通して、自動仕分けシステムを導入することにより、作業の能率を大幅に改善できることが示された。さらに、POIの抽出作業の改善策を導入することにより、作業時間の短縮効果が得られることを示せた。

住所の文字列からその住所に対応する経緯度を得ることにより、理論的なルートを算出する。そして、計算した理論的なルートを「Baidu」の有料サービスを活用して、実際のルートを実出力することを可能にすることができた。

## 6. 参考文献

- 高桑宗右エ門(2016)『オペレーションズマネジメント』 中央経済社
- Kelton, D., Smith, S., Sturrock, T. and Takakuwa, S(2017) *Simio and Simulation: Modeling, Analysis, Applications*, Simio LLC(野村淳一・三輪冠奈・譚奕飛・岳理恵訳(2017)『Simioとシミュレーション—モデリング・解析・応用—』 Simio LLC)
- 趙桂茹(2020)『E-COMMERCE IN CHINA 2019』 中国商務部
- “第1章 市場規模”. 中国国家郵政局白書2021年版: 2020年度速達市場監督報告. 中国国家郵政局, 2020, p. 2-3. [W020210826515815090967.pdf](http://www.spb.gov.cn/W020210826515815090967.pdf), (参照2021-08-15)
- YTO Express. “2019年度報告”. [1589013991222.pdf](http://www.yto.net.cn/1589013991222.pdf), (参照2021-08-16)
- Liu, Y. 2010. ENHANCING SIMULATION AS A DECISION-MAKING SUPPORT TOOL FOR A CROSS-DOCKING CENTER IN A DYNAMIC RETAIL-DISTRIBUTION ENVIRONMENT. In *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*
- Hosam H. A. Mukhairez, Ashraf Y. A. Maghari. Performance Comparison of Simulated Annealing, GA and ACO Applied to TSP. *International Journal of Intelligent Computing Research (IJICR)*, Volume 6, Issue 4, December 2015
- 李敏. Comparative study of several algorithms for traveling salesman problem. *Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications(Natural Science Edition)*, Volume 20, No 4, October 2008
- XIANG Yongjing. Research on Parameter Setting in Ant Colony Algorithm—Take TSP as an Example. *Modern Information Technology*. Volume 4, No. 22, November 2020