

入退室データを用いた移動コスト推定による オフィスレイアウト最適化

Office Layout Optimization by Moving Cost Estimation Using Entry and Exit Data

丹羽雅大 Masahiro Niwa 小島世大 Seidai Kojima 石樽隼人 Hayato Ishigure 武藤敦子 Astuko Mutoh 森山甲一 Koichi Moriyama 犬塚信博 Nobuhiro Inuzuka

名古屋工業大学 大学院 工学研究科 情報工学専攻
Department of Computer Science, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

Recently, method of office layout optimization have been studied so that workers can work comfortably and efficiently. In this paper, we propose a method of office layout optimization that workers can efficiently move using entry and exit data. We also propose a method for estimating the moving cost to be used at that time. On the basis of these proposals, we optimize the office layout using actual entry and exit data, and show the layout plan.

1. はじめに

近年、人々のワーク・ライフ・バランスの実現、生産性の向上などを目指す働き方改革に注目が集まっている。オフィスレイアウトにおいては、働き手が快適かつ効率的に業務を遂行できるように様々な形態のレイアウト方法が研究されている [1][2]。また、近年の労働環境として長時間労働や残業など労働時間による働き手への負担増加が問題となっている。この問題は、生産性の低下、過労死など働き手や企業にとって不利益を被る可能性がある [3][4]。

本研究では、近年多くの組織で普及が進んでいる入退室管理システムから得られる入退室データを用いることで、各部屋間の移動コストの推定をし、オフィスレイアウトの最適化を試みる。最適化には、入退室データから得られる移動時間に着目して分析を行うことで移動コストを推定し、社員の移動時間を最小化するようなオフィスレイアウトを提案する。この最適化により、移動にかけていた時間を仕事や休憩に充てることができ、労働時間を減らすことに繋がると考えられる。

本研究では、オフィスレイアウトとは、ビルフロアに会議室、執務室などの部屋をどのように配置するかというフロア分割のこととし、移動とは、ある部屋を退室し、次の部屋に入室するまでの行動のこととする。

2. 関連研究

辻ら [1] は、「ビジネス顕微鏡」のデータを活用することでクリエイティブオフィスの最適化を継続的に行うことができる可能性を検討した。クリエイティブオフィスとは、組織の生産性を高めるためにオフィス環境によって社員の知識創造行動を引き出すことを意図して設計されているオフィスのことであり、実際のオフィスレイアウトを変更し、アンケートを実施することでこの可能性を示した。また、石川ら [2] は対話型遺伝的アルゴリズムを用いてフロア分割案の生成を行うオフィスレイアウト支援システムを提案した。このシステムでは、ユーザが条件を入力するとその入力に基づき、フロア分割案の生成を行う。

オフィスレイアウトには、辻ら [1] のようにオフィス内のレイアウトを考えるものと、石川ら [2] のようにフロア分割を考えるものがある。本研究で考えるオフィスレイアウトとは、後

連絡先: 丹羽雅大, 名古屋工業大学大学院, 〒466-8555 愛知県名古屋市中昭和区御器所町, m.niwa.152@nitech.jp

表 1: 入退室データ

打刻日	打刻時間	打刻場所	操作	社員 ID
-----	------	------	----	-------

表 2: 変換後のデータ構造

打刻日	退室部屋	入室部屋	移動時間	社員 ID
-----	------	------	------	-------

者のフロア分割のことである。石川ら [2] の提案では、ユーザの主観でオフィスレイアウトされるのに対して、本研究では定量的に観測された入退室データのみを用いることでオフィスレイアウトを行う。

入退室データを利用した研究として、入退室データから社員の行動パターンを分析する研究 [5] や、社員の活躍を評価する研究 [6] がある。本研究では入退室データの件数と時間を利用して移動コストの推定を行うことで、オフィスレイアウトの最適化を行う。

3. 入退室データ

本研究では、協力企業の社員の入退室データを扱う。扱う入退室データは5つの属性(打刻日、打刻時間、打刻場所、操作、社員ID)で構成されている(表1)。データの期間は、2016年6月の1ヵ月間を用いる。打刻場所は、建物名、階(フロア)、部屋名の3つ(例:第2ビル、1階、会議室)で構成されている。建物は、第1ビル、第2ビル、第3ビルの3種類である。部屋は、会議室、執務室の2種類であり、部屋数は合計19部屋である。また、退室した部屋、入室した部屋、その移動にかかる時間を結合するため、表1から表2のようにデータを変換したものをを用いる。その際、打刻のし忘れや出張などが考えられる移動時間が1時間を超える移動と、退室した部屋と入室した部屋が同じ移動はデータから除く。

4. 事前調査

社員の移動に関する現状を知るため、事前調査を行う。各部屋間における社員の移動件数(ある部屋を退室し、次の部屋に入室するという行動が各部屋間において何件行われたか)に着目した調査と、各部屋間における社員の移動にかかる時間(あ

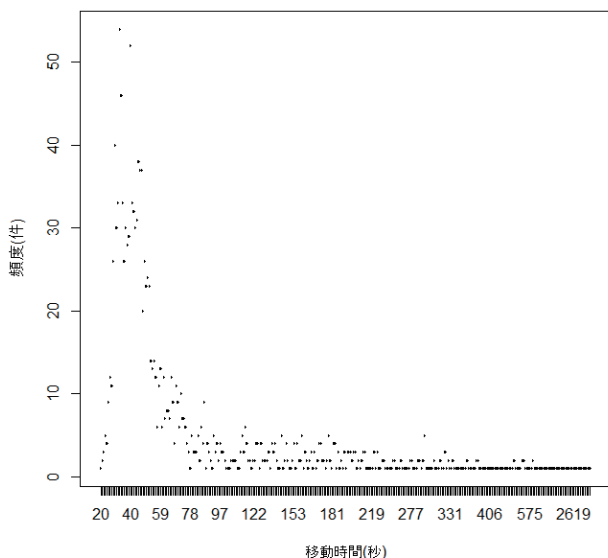


図 1: 部屋間の移動時間の分布

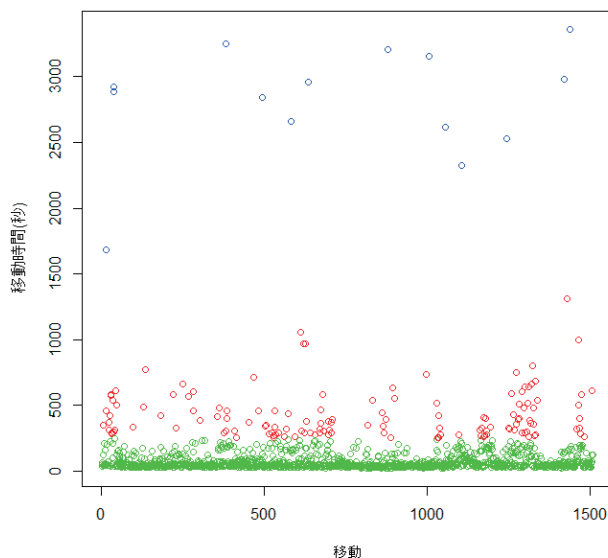


図 2: クラスタリング結果

る部屋を退出し、次の部屋に入室するまでにかかった時間)に着目した調査を行う。

4.1 移動件数に関する調査

各部屋間において移動が何件あったかを調査する。調査の結果、移動件数が比較的多いにも関わらず、その部屋間の距離が遠いと思われる部屋間が存在していることが分かった。このような部屋間は移動の効率が悪いと考えられる。そこで移動件数が多い部屋間は近くに配置し、少ない部屋間は遠ざけて配置することで移動の効率を高めることができると考えられる。

4.2 移動時間に関する調査

各部屋間において移動にどれだけの時間がかかっているかを調査する。ここでは部屋間の一例として、部屋間の移動件数が最も多く確認できた第2ビル1階会議室と第2ビル3階執務室間の移動時間の頻度を図1に示す。調査の結果、同じ部屋間においても短時間の移動から長時間の移動までさまざまな移動が観察できた。そこで各部屋間ごとに移動時間の分布をクラスタリングをする。クラスタリング手法には k-means 法を用いる。クラスタ数は、時間がかかる移動、ある程度かかる移動、かからない移動の3つに分けられると仮定し、3とする。図2に、第2ビル1階会議室と第2ビル3階執務室間の移動時間のクラスタリング結果を示す。図2の横軸は各移動を、縦軸はその移動にかかった時間(秒)を表している。また、色(緑、赤、青)は各クラスタを表しており、ここでは順に緑クラスタ、赤クラスタ、青クラスタと呼ぶこととする。

クラスタリング結果から、緑クラスタにおいてはクラスタの中心の移動時間は1分6秒であり、0分から5分程度の移動がこのクラスタに属していることが分かった。また、赤クラスタにおいてはクラスタの中心の移動時間は7分6秒であり、5分から15分程度の移動がこのクラスタに属していることが分かった。青クラスタにおいてはクラスタの中心の移動時間は46分53秒で比較的長時間かかっている移動がこのクラスタに属していることが分かった。

この結果から各クラスタについて次のような考察ができる。緑クラスタに属する移動は3つのクラスタで最も多く、この

部屋間において比較的短時間の移動をしていることから、歩行速度の個人差などはあるが、部屋を退室してから寄り道することなく、次の部屋に入室する移動を表したクラスタではないかと考えられる。赤クラスタに属する移動は短時間の移動ではあるが、移動に10分程度の時間がかかっていることから、このクラスタはトイレやタバコなどの小休憩をし、移動しているクラスタを表しているのではないかと考えられる。青クラスタには長時間かかる移動が属しており、食事などの長時間休憩をしているクラスタではないかと考えられる。この考察からこの部屋間においては、緑クラスタに属する移動が最も一般的な移動をしていると考えられる。

以上の調査から、部屋間ごとに移動時間をクラスタリングすることでその部屋間を代表する移動時間を推定できると考えられる。

5. 提案手法

オフィスレイアウトの最適化手法とその際に用いる移動コストの推定方法を提案する。提案手法の流れを以下に示す。

1. 入退室データより各部屋間の移動件数および移動時間を算出
2. 各部屋間の移動コストの推定 (5.1 節)
3. オフィスレイアウトの最適化 (5.2 節)

5.1 移動コスト推定

4.2 節から移動時間をクラスタリングすることで部屋間の移動に休憩を挟まない移動時間の推定を行うことができるという可能性を示した。本節ではこの部屋間の移動を代表する移動時間をオフィスレイアウト最適化のための移動コストとして推定する方法として提案する。移動件数が閾値以上の部屋間については各部屋間ごとに移動時間をクラスタリングすることで推定を行う。また移動件数が閾値より少ない部屋間については、近くの部屋間の移動コストをその部屋間の移動コストに代替することで推定を行う。

Algorithm 1 5.1.2 節の擬似コード

```

入力：部屋、5.1.1 節で推定した各部屋間の移動コスト
リスト A = 部屋 A と 5.1.1 節で推定できた部屋のリスト
リスト B = 部屋 B と 5.1.1 節で推定できた部屋のリスト
部屋 AB 間のコスト = 空
while AB 間のコスト == 空 do
  部屋 A' = リスト A 内で部屋 A とコスト最小の部屋
  部屋 B' = リスト B 内で部屋 B とコスト最小の部屋
  if 部屋 BB'間のコスト < 部屋 AA'間のコスト then
    if 部屋 AB'間のコスト != 空 then
      部屋 AB 間のコスト = 部屋 AB'間のコスト
    else
      部屋 B'をリスト B から削除
    end if
  else
    if 部屋 A'B 間のコスト != 空 then
      部屋 AB 間のコスト = 部屋 A'B 間のコスト
    else
      部屋 A'をリスト A から削除
    end if
  end if
  if リスト A == 空 かつ リスト B == 空 then
    部屋 AB 間のコスト = 各部屋間の移動コストの平均
  end if
end while
出力：部屋 AB 間のコスト

```

図 3: 5.1.2 節のアルゴリズム

5.1.1 クラスタリングによる移動コスト推定

移動件数が閾値以上確認できた部屋間はクラスタリングによって移動コストを推定する。各部屋間で移動時間を3つにクラスタリングし、各クラスタ中心のうちで最小であるクラスタを最も一般的な移動をしているクラスタと推定し、そのクラスタ中心の移動時間をその部屋間の移動コストとする。

5.1.2 近隣の部屋間の代替による移動コスト推定

移動件数が閾値未満の部屋間については、近隣の部屋間の移動コストをその部屋間の移動コストとすることで推定を行う。部屋 A と部屋 B 間の移動コストを推定する場合のアルゴリズムの擬似コードを図 3 に示す。入力としては、部屋、5.1.1 節で推定した各部屋間の移動コストであり、出力としては、推定する部屋間の移動コストである。

5.2 オフィスレイアウト最適化手法

移動件数が多い部屋間は近くに配置し、少ない部屋間は遠くに配置することで移動の効率を考慮したオフィスレイアウトの最適化手法を提案する。部屋間の距離を 5.1 節で推定した移動コストとして考え、移動件数が多い部屋間の移動コストを小さくし、少ない部屋間の移動コストを大きくするように配置することでオフィスレイアウトの最適化を実現する。この最適化問題は、(移動件数)×(移動コスト)の和が最小となる部屋の配置を求める問題に帰着させることができる。この問題を定式化したものを以下に示す。

集合：R (部屋の集合)

L (部屋の配置場所の集合)

定数： N_{ij} $i, j \in R$ (移動件数行列)

C_{pq} $p, q \in L$ (移動コスト行列)

変数： $x_{ip} \in \{0, 1\}$ $i \in R$ $p \in L$

(部屋 i を場所 p に配置する場合は 1、それ以外は 0)

目的関数 (最小化)： $\sum_{i,j,p,q} N_{ij} C_{pq} x_{ip} x_{jq}$
(各行列の要素ごとの積の和)

制約条件： $\sum_i x_{ip} = 1$ (p は任意)
 $\sum_p x_{ip} = 1$ (i は任意)

6. 実験

提案手法に従い、協力企業の入退室データを用いてオフィスレイアウト最適化の実験を行う。まず、5.1 節に基づき、各部屋間の移動コストの推定を行う。次に、推定した移動コストを用いてオフィスレイアウトの最適化を行う。最後に、5.1.2 節のアルゴリズムの妥当性を示す実験について行う。

クラスタリング手法は k-means 法を用い、移動件数の閾値は 10 とした。

6.1 移動コストの推定

移動件数が 10 件以上確認できた部屋間は 86 部屋間、移動件数が 10 件未満であった部屋間は 85 部屋間であった。これらの部屋間の移動コストを 5.1 節に従って推定した。

6.2 オフィスレイアウトの最適化

前節で推定した移動コストを用いてオフィスレイアウトの最適化を行う。最適化手法は 5.2 節の通りである。帰着させた問題は、二次割当問題と呼ばれており、NP 困難な問題として知られている。本実験では部屋数が 19 部屋であり、配置の組み合わせを全通り計算し、厳密解を求めるには膨大な計算量となる。そこで本研究ではこの問題の解を求める方法として、既存の焼きなまし法による近似解法を用いることとする。オフィスレイアウトの最適化結果を表 3 に示す。表 3 はレイアウト前の部屋にレイアウト後の部屋を割り当てるということを表している。この結果から最適化前のレイアウトと最適化後のレイアウトの (移動件数)×(移動コスト) の値を計算したところ、最適化前のレイアウトでは 772,111 秒 (8 日 22 時間 28 分 31 秒)、最適化後のレイアウトでは 337,460 秒 (3 日 21 時間 44 分 20 秒) であり、約 43% のコスト削減、また期間内の全社員の全移動において 434,651 秒 (5 日 0 時間 44 分 11 秒) の移動時間が削減できたことが確認できた。

6.3 アルゴリズムの妥当性を示す実験

5.1.1 節の方法で推定した移動コストを用いて 5.1.2 節のアルゴリズムの妥当性を示す実験を行う。実験としては、移動件数が 10 件以上であった部屋間についても 5.1.2 節の方法で移動コストを推定する。その際、その部屋間と遠い部屋間の移動コストほど 5.1.1 節の方法で推定した移動コストとの差が大きくなることを示すことで、近くの部屋間の移動コストを移動件数不足の部屋間の代替として用いることの妥当性を示す。

実験結果を図 4 に示す。図 4 の横軸は、何番目に近い部屋間の移動コストを代替として用いたかを表し、縦軸は、横軸の部屋間の 5.1.1 節の方法で推定した移動コストと、代替前の部屋間の 5.1.1 節の方法で推定した移動コストとの差 (秒) を表している。図 4 は 85 部屋間の実験結果を重ねて図示している。実験の結果、相関係数が 0.544、p 値が 0.01 未満となり、正の相関があることが確認できた。このことから、近い部屋間の移動コストを用いるほど 5.1.1 節の方法で推定した移動コストとの差が小さくなり、遠い部屋間の移動コストを用いるほど差が大きくなることを示すことができた。つまり、より近い部屋間の移動コストを用いて推定する本手法の妥当性を示すことができたと考える。

表 3: オフィスレイアウトの最適化結果

レイアウト前	レイアウト後
第 1 ビル 1 階会議室 A	第 1 ビル 1 階会議室 C
第 1 ビル 1 階会議室 B	第 2 ビル 2 階執務室
第 1 ビル 1 階会議室 C	第 2 ビル 4 階執務室
第 1 ビル 1 階会議室 D	第 2 ビル 1 階会議室
第 1 ビル 1 階会議室 E	第 2 ビル 3 階執務室
第 1 ビル 2 階会議室	第 1 ビル 1 階会議室 A
第 1 ビル 2 階執務室	第 1 ビル 4 階執務室
第 1 ビル 4 階執務室	第 1 ビル 1 階会議室 E
第 1 ビル 5 階執務室	第 1 ビル 1 階会議室 B
第 2 ビル 1 階会議室	第 3 ビル 2 階会議室
第 2 ビル 2 階執務室	第 1 ビル 2 階執務室
第 2 ビル 3 階執務室	第 1 ビル 2 階会議室
第 2 ビル 4 階執務室	第 1 ビル 5 階執務室
第 3 ビル 2 階会議室	第 1 ビル 1 階会議室 D
第 3 ビル 3 階会議室	第 3 ビル 4 階会議室 B
第 3 ビル 3 階執務室	第 3 ビル 4 階執務室
第 3 ビル 4 階会議室 A	第 3 ビル 3 階執務室
第 3 ビル 4 階会議室 B	第 3 ビル 3 階会議室
第 3 ビル 4 階執務室	第 3 ビル 4 階会議室 A

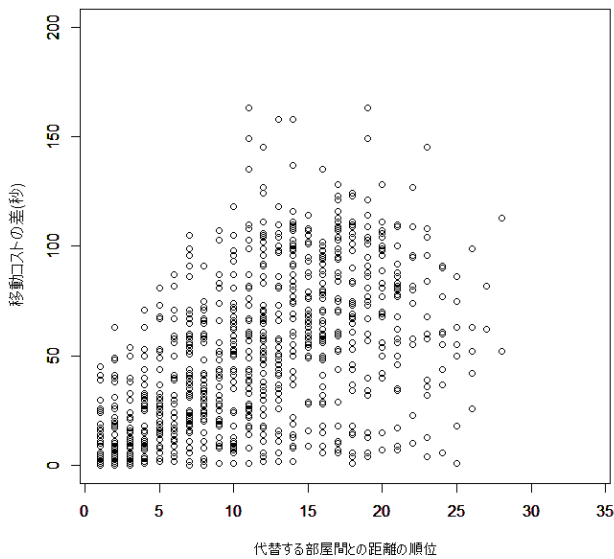


図 4: 部屋間の距離と 5.1.1 節の方法で推定した移動コストの差

7. まとめと今後の課題

本研究では、オフィスの入退室データから得られる移動時間に着目し、社員の移動時間を最小化するようなオフィスレイアウトの最適化手法、およびその際に用いる移動コストの推定方法の提案を行った。移動コストの推定方法では移動データ件数に応じて、各部屋間ごとに移動時間をクラスタリングし、分析することで推定する方法と、近隣の部屋間の移動コストを用いて推定する方法を提案した。実験では、提案手法に基づき、協力企業の社員の入退室データを用いることで実際に移動コストの推定とオフィスレイアウトの最適化を行った。最適化前のレイアウトと最適化後のレイアウトを比較したところ、実際に移動時間の削減が確認でき、この手法の実現可能性を示すことができた。

本研究の提案手法では、全部屋が入れ替え可能であることを前提としている。そのため、部屋の大きさや収容人数が考慮できていないという課題がある。また、レイアウト変更前の各部屋にはすでにその部屋をどのような用途で使用するかが決められているが、本研究では部屋の用途を考慮できていない。今後はより現実に近い形でレイアウトができる手法を検討する必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、入退室データを提供して頂いた協力企業に感謝の意を表す。本研究は JSPS 科研費 JP18K18160 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 辻聡美, 佐藤信夫, “行動センシングデータを用いたクリエイティブオフィス最適化方法の提案”, 第 12 回情報科学技術フォーラム, RO-010, 2013
- [2] 石川智滉, 長谷川優子, “対話型遺伝的アルゴリズムを用いたオフィスレイアウト支援システム ~フロアへの部屋の割当案の生成~”, 情報処理学会第 80 回全国大会, 5M-09, 2018
- [3] 労働政策研究・研修機構, “日本の長時間労働・不払い労働時間の実態と実証分析”, 労働政策研究報告書, No.22, 2005
- [4] 小倉一哉, “日本の長時間労働 — 国際比較と研究課題”, 日本労働研究雑誌, No.575, pp.4-16, 2008
- [5] 小島世大, 石樽隼人, 坂田美和, 武藤敦子, 森山甲一, 犬塚信博, “オフィスワーカーの入退室データを用いた移動時間パターンの分析”, The 32nd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 3O2-OS-1b-01, 2018
- [6] 森木田一真, 小島世大, 坂田美和, 武藤敦子, 森山甲一, 犬塚信博, “会議室入退データを用いたネットワーク分析によるオフィスワーカーの活躍評価”, 第 61 回ユビキタスコンピューティングシステム (UBI) 研究会, 2019(発表予定)