

イジングマシンを利用した在庫管理システム

伊東弥桜花 (指導教員：工藤和恵)

1 はじめに

世の中にある工場や小売店では部品や商品の在庫管理が経営する上で非常に重要である。このような場所における余剰在庫の存在は、在庫として残っている物品の品質低下や廃棄コストの増加、スペースの圧迫や企業の利益の減少など様々な問題を引き起こす [1]。本研究ではこのような問題の防止のため企業の利益を大きく、余剰在庫を少なくすることを目的として、イジングマシンを用いて最適な在庫管理を行う基盤的なアルゴリズムを開発し、受け取った入力データから余剰在庫が少なくなるような部品や商品の発注数を出力する。イジングマシンとは、組合せ最適化問題の球解に特化したコンピュータのことである。入力データには、物を置けるスペースの上限や各部品、商品の仕入れ値、予算、運用費などの費用を使用し、工場では注文数や納期、コンビニでは商品の過去の売上や保管可能日数など、運用する場所に合わせたデータも使用し、これらの入力データから、出力として在庫の過不足が少なく、利益が大きくなるような各部品、商品の発注数を算出する。

2 問題設定

2.1 工場における在庫管理問題

本研究では具体例として、工場での在庫管理を考えた。決まった発注間隔で数量を計算して部品の発注を行っている工場を想定し、その工場で余剰在庫を少なく、利益を大きくすることを目的として各部品の発注数を算出する。在庫に関しては発注前に既に倉庫に保持している部品数も考慮し、入力に加える。他に、部品の保管に使用するスペースを事前に入力した使用可能なスペースの上限に近づけること、仕入れ値をできるだけ小さくすることを要素として取り入れる。上記の目的に必要な入力データとして、各部品の情報（発注前の在庫数、発生する利益、需要（予測売上数）、保管に使うスペース、仕入れ値）と、工場全体の部品の保管に使用できるスペース、予算を使用した。

2.2 期待される効果

このシステムの開発による主な効果として以下の2点が挙げられる。1つ目に企業の利益を増加させ、それによる従業員の給料増加や働きやすい環境づくりを図る。2つ目に余剰在庫・欠品の減少により企業の損失を抑え、経営しやすくする。

3 定式化

この問題で使用するハミルトニアンは以下のように表される。

$$H = H_1 + H_2 + H_3 \quad (1)$$

$$H_1 = -\frac{1}{M} \sum_i (p_i - m_i) w_i \quad (2)$$

$$H_2 = \alpha \sum_i \left(\frac{t_i + w_i}{d_i} - 1 \right)^2 \quad (3)$$

$$H_3 = \frac{\beta}{S^2} \left(\sum_i s_i (t_i + w_i) - S \right)^2 \quad (4)$$

ここで、部品の種類の数を N 、各部品の ID を i とする ($i = 0, 1, \dots, N-1$)。 w_i は発注数 (変数)、 t_i は発注前の在庫数 ($0 \leq t_i \leq 100$)、 p_i は発生する利益 ($1 \leq p_i \leq 5$)、 d_i は需要 (予測売上数) ($150 \leq d_i \leq 800$)、 s_i は保管に使うスペース ($1 \leq s_i \leq 4$)、 m_i は仕入れ値 ($1 \leq m_i \leq 10$) を表しており、 t_i, p_i, d_i, m_i は整数、 s_i は実数のパラメタである。 S は工場全体の部品の保管に使用できるスペース、 M は予算を表している。また、各商品の情報はそれぞれ上記の範囲内での一様乱数で値を決定する。

変数 w_i はバイナリ変数 x_i を用いて 10 桁の二進数として表現し、

$$w_i = \sum_{j=0}^9 2^j x_{ij}, \quad x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (5)$$

で表す。

ハミルトニアンは、コスト項 H_1 と、制約項 H_2, H_3 の計 3 項で構成した。第 1 項の H_1 は金銭に関わる項目であり、全ての部品が売れた場合の利益の合計と仕入れ値の合計をまとめた項になっている。エネルギーは利益が大きいほど小さく、仕入れ値が大きいほど大きくなる。第 2 項の H_2 は発注後の在庫数を需要との差で割った値から 1 を引いて 2 乗しており、発注後の在庫数が需要に近いほど小さい値をとる。第 3 項の H_3 は発注後の部品の保管に必要なスペースから全体の保管に使用できるスペースを引いて 2 乗しており、部品がとるスペースの合計を S に近づけるための項である。 α, β は制約項の強さを表す係数である。各項のバランスをとるため、第 1 項、第 3 項はそれぞれ M, S^2 で割っている。

4 結果

4.1 制約の強さの調整

実行するにあたり、制約項の強さの調整として、今回の大きな目的の 1 つである余剰在庫に関する項に着目し、ハミルトニアン第 2 項の係数 α を 0.1 から 1.0 まで変化させて結果がどう変わるのか検証した。

実行した結果図 1 のグラフのようになった。この 2 つのグラフから、 α が大きくなるにつれ需要との差は小さくなるものの、利益は減る傾向にあることが分かった。このことから、利益と余剰在庫の要素が相反していることが分かる。パラメータを調節することによって利益と余剰在庫どちらを優先するかを調整することができる。

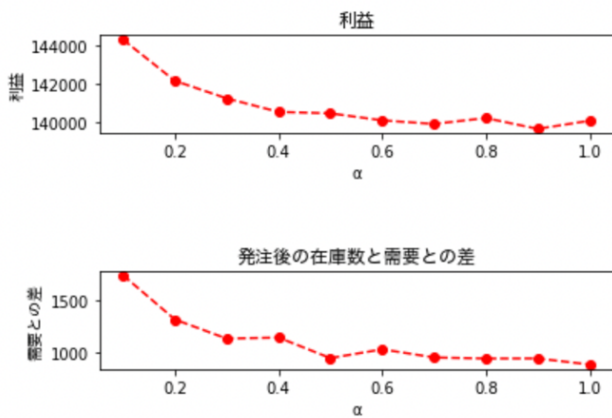


図 1: α と利益、在庫の過不足についてのグラフ

4.2 実行結果

部品の種類数を $N=100$ とし、一様乱数を用いて作成したデータファイルを用いて実行した。データファイルには、部品ごとの発注前の在庫数、発生する利益、需要、保管に使用するスペース、仕入れ値が記載されている。今回は利益を優先することにし、余剰在庫に関する項の係数 $\alpha=0.1$ にした。個々のデータに合わせて、全体の使用可能なスペース $S=120000$ 、予算 $M=220000$ とした。ソルバーには Fixstars Amplify [2] を用いた。

商品番号	発注数	利益	需要との差	スペース	金額
0	768.0	4030.0	112.0	2151.5	3072.0
1	643.0	685.0	3.0	891.9	1929.0
2	511.0	2730.0	24.0	1800.1	1022.0
3	343.0	1278.0	27.0	1399.3	343.0
4	320.0	644.0	14.0	631.8	960.0
5	691.0	2223.0	62.0	2499.9	2073.0
6	448.0	1503.0	20.0	1576.0	2240.0
7	384.0	850.0	36.0	1277.9	2688.0
8	767.0	3885.0	25.0	1192.6	2301.0
9	191.0	568.0	-16.0	301.6	1528.0
10	112.0	158.0	5.0	355.0	224.0
11	498.0	2164.0	-21.0	992.6	4980.0
12	192.0	1430.0	8.0	649.3	1920.0
13	122.0	633.0	3.0	817.8	854.0
14	639.0	703.0	-50.0	2754.0	5751.0
15	447.0	2640.0	3.0	1682.1	4470.0

図 2: 実行結果

作成した Web アプリケーションのプロトタイプで実行した結果の一部を抜粋したものが図 2 である。この Web アプリケーションではまず、入力ページで使用するデータファイル、スペース S 、予算 M をそれぞれ入力する。そして利益と余剰在庫どちらの要素を優先するか決める値として余剰在庫に関する項の係数

合計利益

147249.0

在庫の過不足の合計

2243.0

	入力値	計算結果	入力値との差
スペース	120000.0	118857.14517637002	-1142.854823629983
予算	220000.0	257367.0	37367.0

図 3: 利益の在庫の過不足の合計、スペースと仕入れ値についての出力結果

α を 0.1 から 1.0 の範囲内で選ぶ。最後に実行ボタンを押すと結果が表示される仕組みになっており、1 回の実行には数秒ほどかかる。

図 2 は部品ごとに、算出された発注数と、発注後の在庫数から得られる利益、発注後の在庫数と需要との差、発注後の在庫を保管するために必要なスペース、仕入れ値を記載した表である。図 3 では、利益の合計と在庫の過不足の合計を記載しており、スペースと予算（仕入れ値）については、入力した使用可能なスペース、予算と、算出された必要なスペース、仕入れ値を比較した表を出力している。今回の結果では、スペースについては計算結果が入力値を下回る結果となり、予算は上回る結果となった。今回は $\alpha=0.1$ で実行したが、 α は 0.1 から 1.0 まで調節できるようになっているため、利益と在庫の過不足どちらに重きを置いた発注数を算出するか、ニーズに合わせて変更することができる。

5 まとめ

本研究ではイジングマシンを用いて、利益が大きく、余剰在庫が少なくなるような在庫管理システムを開発した。

今後の研究の課題として、利用する場所のニーズに合わせたハミルトニアンへの応用を考えている。具体的には、工場内の機械の稼働可能な台数、時間の制限内で生産に使用できる部品の最大数を発注数が超えないようにするという制約を加える、製造工程がいくつかある工場において加工前の部品のみだけでなく、仕掛品、完成品を保管するスペースについても合わせて考える、といったことが挙げられる。また、保管場所について部品を使用する機械との距離を考慮し、出来るだけ近い場所に保管するようにすることも検討する。Web アプリケーションについても改良し、利用しやすいアプリケーションを作成する。

参考文献

- [1] IT トренд, 在庫管理における 7 つの課題と解決できるシステムの選び方を解説!, https://it-trend.jp/inventory_control/article/misc
- [2] Fixstars, 量子アニーリングと共に進化するクラウド Fixstars Amplify, <https://amplify.fixstars.com/>