

量子アニーリングを用いた履修計画最適化

明星大学情報学部情報学科 和田研究室

19J5-095：當摩駿

1 はじめに

近年、組み合わせ最適化問題を高速に解く手法として量子アニーリングが注目されている。これは、従来のコンピュータでは答えの導出に膨大な時間を要する問題でも、量子アニーリングであれば短時間で解くことができると言われているからである。

本研究では、組み合わせ最適化問題を量子アニーリングで解く手法を利用し、大学の履修計画における最適な組み合わせを提案する。学生が履修計画を立てる際、大学の基準を満たす組み合わせにする必要があり、さらに科目の組み合わせの選択肢が膨大であるため時間がかかる。この問題の解決のために、学生の希望を数値化して表現し、膨大な選択肢の中から基準を満たす組み合わせを提案する。ここで、すべての学生に対して最適な履修計画を提案することはできないため、本研究では履修モデルを複数選択したい学生を対象とする。

2 量子アニーリング

量子アニーリングとは、量子コンピュータの方式の一つであり、物理学の概念であるエネルギーをもとに、エネルギーが最も低い状態を探索する問題に置き換えるという発想の転換で考えられた技術である。一方で組み合わせ最適化問題は、“膨大な選択肢からベストな選択肢を探索する”というもので、例として「巡回セールスマン問題」が挙げられる。これは多数の場所を訪問するセールスマンが、移動時間や交通費といったコストを最小化する経路、または最適な経路の探索をする問題である。

3 履修計画最適化

3.1 科目の重み付け

量子アニーリングで最適解を得るために、学生の希望に沿った科目に重みを付け、希望の強い科目ほど大きな重みを付ける。そして最終的に重みの合計が大きい科目を優先的に選択することを目的とする。重みの付け方は、学生が複数の履修モデルを選択し、履修モデルごとに重みを付ける。これにより、表1のように履修モデルに含まれる学科科目に重みが付く。教養科目については、学生が選択した

教養科目ごとに割合を選んでもらい、学科科目の最大の重みに割合をかけたものを重みとして算出する。

表 1: 複数の履修モデルと教養科目の重み付けの例

	履修モデル A(重み 10)	履修モデル B(重み 8)	教養科目	合計
学科科目 1	10			10
学科科目 2	10	8		18
学科科目 3				0
...				
教養科目 1				0
教養科目 2			18 × 0.9	16.2
...				

3.2 定式化

量子アニーリングは2次元で表現されるため、履修における「科目、曜日、時限」という3次元で構成されている要素を「科目、曜日時限」の2次元で表す。これを表2に示す。表に含まれている“1”は、科目*i*に該当する曜日時限*j*の場所の例である。

表 2: 科目と曜日時限

<i>i</i> \ <i>j</i>	月 1	月 2	月 3	月 4	月 5	月 6	...
科目 1		1					
科目 2					1		
科目 3	1						
...							

下記に定義と定式化（目的関数と制約条件）を示す。

表 3: 定式化する際の定義

記号	定義
W_i	i 番目の科目の重み
$T_{i,j}$	i 番目の科目は j 番目の曜日時限である
C_i	i 番目の科目の単位数
A	取得したい単位数
$x_{i,j}$	i 番目の科目を j 番目の曜日時限に取る (= 1) or 取らない (= 0)

【目的関数】

- 重みの大きい科目を優先的に選択する

$$\text{maximize } \sum_{i=0} \sum_{j=0} W_i x_{i,j} \quad (1)$$

【制約条件】

- i 番目の科目は指定された j 番目の曜日時限にしか取れない

$$\lambda_1 \sum_{i=0} \sum_{j=0} ((T_{i,j} - 1)x_{i,j})^2 = 0 \quad (2)$$

- j 番目の曜日時限にあらゆる科目は一つまでしか取れない

$$\lambda_2 \sum_{j=0} \sum_{i=0} T_{i,j} x_{i,j} \leq 1 \quad (3)$$

- 取得したい単位数は A とする

$$\lambda_3 ((\sum_{j=0} \sum_{i=0} C_i x_{i,j}) - A)^2 = 0 \quad (4)$$

3.3 実験

実験は以下の手順で行う。

1. 学生による希望の入力
2. 量子アニーリングの実行
3. 実行結果の取得と確認

実験では、明星大学の科目と履修モデルを使用し、情報学部の学生を対象に行う。まず、学生が履修計画を立てるための希望を入力する。履修モデルを複数選択し、履修モデルごとに重みを付ける際、本研究では5段階の重み(10,8,6,4,0)の選択肢を提示する。また、履修したい教養科目の重みは、学科科目の算出された最大の重みに割合(90%,60%,30%,0%)をかけて決定する。

実際に複数の履修モデルを学びたい学生がいることを想定し、実験を行う。例として、履修計画を立てたい学生は2年生とし、「クラウドエンジニア、ソフトウェア開発、マルチメディアと知覚デザイン」の3つの履修モデルを選択して、それぞれ10, 8, 6の重みを付ける。また、教養科目も複数選択し割合を付け、自身の配当年次以下を選択し、開講学期も選択する。取得したい単位数は、前期と後期共に16とする。

量子アニーリングの実行には、シミュレータである OpenJij を使用し、次の手順で実行する。

1. 3つの制約条件に罰金係数をかける
2. 定式化した目的関数と3つの制約条件を足し合わせる
3. OpenJij を実行する

履修計画最適化における3つの制約条件の罰金係数はそれぞれ、 $\lambda_1 = 75$, $\lambda_2 = 8$, $\lambda_3 = 6$ に設定し、目的関数と3つの制約条件を足し合わせて OpenJij を実行する。

OpenJij から取得した前期に履修する科目を表4に示す。この結果から、取得したい単位数と実際に取得された単位数が一致し、どの科目も曜日時限が重なっていないことが分かる。また、重みの大きい科目が優先的に選択されたため、目的を達成することができた。

表 4: 前期の科目と重みの実行結果

科目名	曜日時限
アルゴリズムとデータ構造 1	木 2
システム工学	火 4
現代社会の仕組み A	火 5
情報法制論	火 3
技術外国語 A	月 4
技術・科学史	木 3
コンピュータグラフィックス	火 2
知的財産権	土 3

4 おわりに

本研究では、量子アニーリングを用いて明星大学情報学部の学生を例に履修計画の最適化を行った。複数の履修モデルと教養科目を選択し、取得したい単位数などを指定して実験を行った結果、制約条件が守られつつ、重みの大きい科目が選択されたため、目的を達成することができた。よって、本研究で提案した量子アニーリングを用いた履修計画最適化は、履修モデル（または履修モデルに準じた仕組み）のある大学で利用可能である。今後の課題として、科目数が増加し、制約条件が増えた場合、量子アニーリングの精度に変化があるかどうかを調べる必要がある。また、履修計画最適化の利便性を向上させるために、取得したい教養科目の単位数と、学科科目の単位数をそれぞれ指定することができるかと望ましいと考える。

参考文献

- [1] 渡邊靖志. 入門講義 量子コンピュータ. 講談社, 2021.
- [2] 西森秀稔, 大関真之. 量子アニーリングの基礎. 共立出版株式会社, 2018.
- [3] Openjij. <https://www.openjij.org/>.