建築パラメトリックデザインのための対話的動線計画最適化
− 平面計画、動線計画最適化手法の研究とプラグイン開発 −

田川直樹

成果物

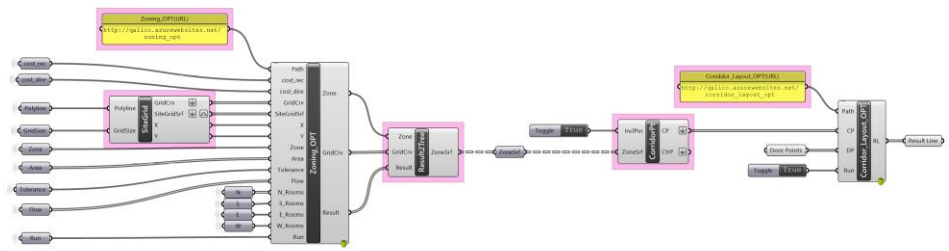
平面計画支援プラグイン

Qalico

アイコンデザイン：吉成愛美理

配布サイト

https://www.food4rhino.com/en/app/qalico



Grasshopperで最適化を行うコンポーネント

背景・目的

パラメトリックデザイン・最適化の一般化

平面設計において最適化手法が未発達

＋

量子アニーリング技術の発展

↓

量子アニーリングを用いた
高速、かつ対話的な平面設計を行うソフトウェアの開発

特徴

・アニーリングによる多目的最適化
→ゾーニング最適化や通路配置の最適化

・パラメトリックに部屋の設定を変えることによる多様な解
→様々な試行錯誤が可能に

・複雑な問題の短時間での最適化
→1分から2分で最適化、試行錯誤の時間短縮

最適化手法

ゾーニング最適化　二次割当問題の応用

（q：スピン, N：グリッド数, Z：ゾーン数）

目的関数

$$H_C = \sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{N-1}\sum_{k=0}^{Z-1}\sum_{l=0}^{Z-1} f_{k,l} d_{i,j} q_{i,k} q_{j,l}$$ （f：フロー　d：グリッド間距離）　2 次割当問題

$$H_R = \sum_{i=0}^{N-1}\sum_{k=0}^{Z-1}(q_{i,k} - q_{i+1,k})^2$$ 矩形化

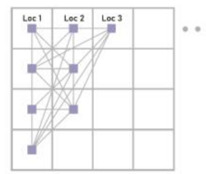
$$H_D = \sum_{i=0}^{N-1} L_i q_i$$ （L：グリッドの座標）　方角配置

$$\min \quad H = H_C + c_1 H_R + c_2 H_D$$ （c_1, c_2：チューニングパラメータ）　ハミルトニアン

制約条件

$$\sum_{k=0}^{Z-1} q_{i,k} = 1 \qquad i \in \{0,1,2\ldots,N\}$$ ゾーンの重複を禁止

$$(A - \sum_{i=0}^{N-1} q_{i,k})^2 \le (TA)^2 \qquad k \in \{0,1,2\ldots,Z\}$$ （A: 目標面積／グリッド面積　T: 面積許容誤差）　指定した面積にする



	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4
Z0	10	2	4	3	0
Z1		10	5	0	4
Z2			10	3	2
Z3				10	0
Z4					10

Flow 行列

通路配置最適化　シュタイナー木問題の応用

（N：頂点数）

目的関数

$$\min \quad H_A = \sum_{uv\in E}\sum_{i=0}^{N/2} C_{uv} x_{uv,i}$$ （B: チューニングパラメータ）　通路の長さを短く

c_{uv}: 各頂点間の重み（Eは$c_{uv} = 1$を満たすuvの集合）

制約条件　根を一つ持つ

$$\sum_{v\in U}\sum_{i=0}^{\frac{N}{2}} x_{v,i} = 1$$ U 内の頂点は必ず木に 1 回含まれる

$$\sum_{v\in V} x_{v,0} = 1$$

$$\sum_{v\notin U}\sum_{i=0}^{\frac{N}{2}} x_{v,i} \le 1$$ U にない頂点は木に 1 回含まれるか含まれない

$$\sum_{v\in V}\sum_{i=0}^{\frac{N}{2}} x_{v,i+1} = \sum_{uv\in E}\sum_{i=0}^{\frac{N}{2}} x_{uv,i}$$ 根からの深さ i+1 の頂点 v は深さ i の頂点 u と辺で結ばれる

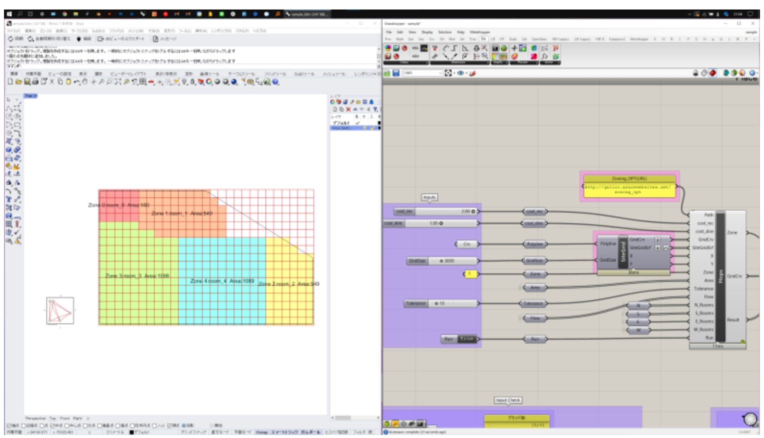
$$\sum_{uv\in E}\sum_{i=0}^{\frac{N}{2}} x_{uv,i}(1 - x_{v,i}) = 0$$ 辺 u→v が根から深さ i にあるとき頂点 u は根からの深さが i

無向グラフ G = (V, E)

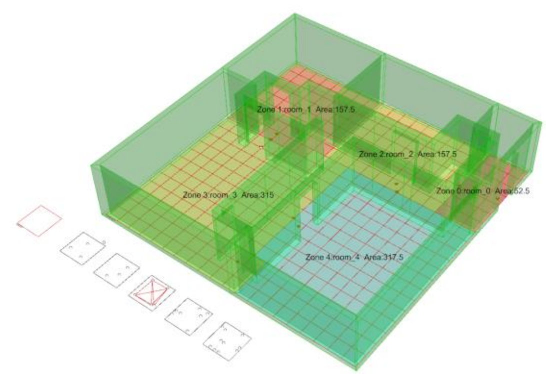
$x_{v,i}$: 頂点vが深さiのとき1をとるバイナリ変数

$x_{uv,i}$: 辺uvが深さiのとき1をとるバイナリ変数

活用例



パラメータを変化させながらの平面設計



最適化結果の立体化などのユーザーによる活用