

西日の眩しさを考慮した経路探索アルゴリズム

松田 大樹^{1,a)} 村田 佳洋^{1,b)}

受付日 2015年8月7日, 採録日 2016年2月8日

概要: 近年, 移動の快適性を考慮した経路探索システムが積極的に取り入れられている. たとえば, 交通渋滞や道幅を考慮した経路探索システムがある. 本研究では, 西日の眩しさを考慮した経路探索アルゴリズムを提案する. このアルゴリズムはダイクストラ法に基づいており, そして, 時刻に対する道路網グラフの眩しさの変化を考慮しながら経路探索を行う. また, 提案アルゴリズムでは建物の影を考慮する. 計算コストを抑えるために, 建物データは東西に伸びる長方形のグリッド単位で管理されている. 提案アルゴリズムの性能を評価するため, 広島市内の地図を用いて実験した.

キーワード: 等価光幕輝度, 経路探索, 組合せ最適化, ナビゲーションシステム

A Route Optimization Algorithm Considering Glare of the Late Afternoon Sun

HIROKI MATSUDA^{1,a)} YOSHIHIRO MURATA^{1,b)}

Received: August 7, 2015, Accepted: February 8, 2016

Abstract: Recent years, there are various navigation system considering comfort of traveling. As existing study, route optimization algorithms are proposed to avoid traffic jam, narrow road and so on. In this study, we propose a route optimization algorithm to avoid glare of the late afternoon sun. This algorithm is based on Dijkstra's algorithm. This algorithm searches for a route considering time variation of glare of the late afternoon sun. In this algorithm, shadows of buildings are considered. These buildings data are managed with wide rectangle area from east to west, to save computation cost. In order to evaluate the performance of the proposal algorithm, we experimented with a map of Hiroshima city.

Keywords: equivalent illuminance, route search, combinatorial optimization, navigation system

1. はじめに

近年, 最短経路を探索するアルゴリズムだけでなく, 交差点での右左折や交通量を考慮した経路探索アルゴリズム等移動の快適性を考慮した経路探索アルゴリズムの研究が活発に行われている [7], [11]. 右左折の有無や道幅に関する移動の快適性を考慮した経路探索アルゴリズムの研究では, 遺伝的アルゴリズムを用いて, 移動の快適性を考慮した経路最適化手法の提案をしている. 右左折の有無や移動の快適性は地図に対して一意に決定することができる.

これに対し, 渋滞等, 移動の快適性が動的に変化するものもある. 最近では, ジオフェンシング技術を用いてリアルタイムに渋滞を回避するナビゲーションシステムや各日付および時刻の混雑度合いの統計データに基づいたナビゲーションシステムが提案されている [4], [5].

本研究では, 時刻に対して快適性が変化する道路網グラフに対し, 建物とフロントガラスによる西日の眩しさの遮蔽判定を行いながら, 西日の眩しさと, 移動に対する所要時間なるべく最小化する経路探索アルゴリズムを提案する. また, 提案アルゴリズムでは建物の影を考慮する. 計算コストを抑えるために, 建物データは西日による影が長く伸びる方向に長辺を持つ各長方形グリッド単位で管理されている. 提案アルゴリズムの性能を評価するため, 国土地理院が発行している広島市内の地図 [9] に対して, 提案手法と通常のダイクストラ法 (最短経路を求めるもの) で

¹ 広島市立大学大学院情報科学研究科システム工学専攻
Department of Systems Engineering, Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University, Hiroshima 731-3194, Japan

^{a)} matsuda@sos.info.hiroshima-cu.ac.jp

^{b)} yoshihi-m@hiroshima-cu.ac.jp

求めた経路を比較した．さらに，西日による影が伸びる方向に長辺を持つ長方形グリッドを用いることで，正方形グリッドを用いた最良の場合に比べて 9% 少ない計算時間で経路を導出することに成功した．

2. 関連研究

ナビゲーションシステムの代表的な例としてカーナビがある．カーナビは道案内等を行いドライバの運転を支援するシステムである．運転者の現在位置を自動的に割り出し，システムに記録された地図と照らし合わせることで運転者を支援する．他にも，単なるナビゲーションシステムではなく，周辺の地図の表示や音声案内，観光地やレストランの案内等，利便性の高いツールとして普及し，2013 年の出荷台数は 546.6 万台に達し，現在では 7 割程度の乗用車にカーナビが搭載されている [10]．

カーナビを支えた技術としては，操作や描画等のユーザインタフェース技術，自車位置を特定するロケーション技術，日本全国を網羅するデジタル地図がある [12]．最近では，宇宙航空研究開発機構（JAXA）の陸域観測衛星「だいち」（ALOS）によって撮影された衛星画像を用いた，「全世界デジタル 3D 地図提供サービス」がその一例としてあげられる [8]．このようなデジタル地図の 3D 化およびナビゲーションシステムの発達にともない，3 次元地図データ情報を用いた，新たなナビゲーションシステムの開発が現在活発に行われている [6]．

経路探索アルゴリズムにおいては，単に最短経路を探索するアルゴリズムだけでなく，交差点の右左折や渋滞を考慮した経路探索アルゴリズム等，移動の快適性を考慮した経路アルゴリズムの研究が活発に行われている [1]，[11]．

予測した交通量に対する移動の快適性を考慮した経路最適化手法に関する研究では，蟻の行動モデルを用いたアントコロニー最適化手法を用いて，予測した交通量に対する移動の快適性を考慮した経路探索法の提案を行っている [3]．

右左折の有無や道幅に関する研究では，多目的 GA を用いて交差点の右左折の回数や道幅の広さに応じた運転のしやすさに対する移動の快適性を考慮した経路最適化手法を提案している [11]．

3. 問題定義

3.1 問題概要

本節では，西日の不快性すなわち，眩しさと経路長を考慮した不快感を最小化する経路探索問題を定義する．移動の快適性は様々な要因に基づいている．その要因の 1 つとして西日があげられる．

西日が出ている状況での西方への移動は眩しく不快である．図 1 に示すように，西日が出ているときは，西日に対し斜めに進むことにより，西日が視界の正面にくることを防ぐことができる．そして，出発時刻が変化すると，西日

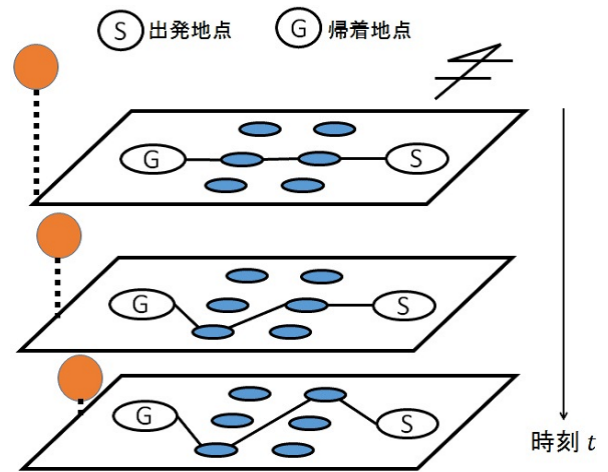


図 1 時刻に依存した眩しくない経路変化の概念図

Fig. 1 The concept of varying non-glare route according to time.

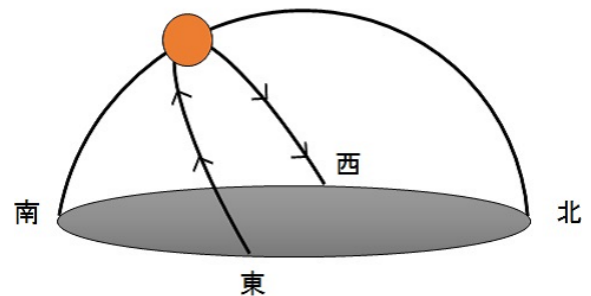


図 2 太陽位置の時間変化の様子

Fig. 2 The variation of sun position.

の直射する角度やタイミングも変化するため，西日为了避免することのできる経路も変化する．そして，図 2 に示すように，西日は時刻に応じてその角度を変えるため，「走ると眩しい道」も時刻とともに変化する．すなわち，従来の経路探索問題とは異なり，不快度の低い経路は時刻に応じて動的に変化し続けるという性質を持つ．

そこで，西日グレア（強烈な光により眩しさを感じる状況）と移動に対する所要時間による不快度を考慮した経路探索問題を定義する．移動に対する所要時間に対してのみ最小化を行う場合，時間に余裕があり，最短経路から少し迂回をすれば西日になるべく回避できる経路があったとしても，最短経路が最適解となる．

本研究では，出発時に待機することを許す．移動に対する所要時間を無視して西日グレアのみを考慮する場合，日が完全に暮れるまで待機した後に移動すればよい．しかし，日が暮れるまで，2 時間も 3 時間も待機する場合も十分考えられる．このような場合には，少しの間西日が眩しくてもかまわないから，数時間も待機せず移動する方が苦にならない場合も考えられる．そして，西日に対してある程度の角度を持った道を組み合わせることにより，不快度を抑えた経路が得られるのではないかと考えられる．

本研究では，自動車の運転者を対象とした経路探索を想

定しているため、運転者の視線方位と太陽位置による西日グレア発生条件と、フロントガラスと建物による西日グレア遮蔽条件を与える (3.2 節で後述)。道路網グラフの各辺に、太陽に対する等価光幕輝度と、移動に対する所要時間に応じた不快度を与える。また、運転者が出発時に待機する待ち時間に対する不快度も与える。この不快度 (3.4 節で後述) についての目的関数を最小化するような経路を求めることが本研究の目的である。

3.2 西日グレア発生条件

本節では、西日グレアが発生する視野範囲について述べる。まず、本論文において、道路網グラフデータを $G = (V_{cr}, E_{ro})$ と表す。ここで、各交差点を示す頂点の集合を $V_{cr} = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ と表す。また、各交差点を結ぶ辺の集合を E_{ro} と表す。そして、時刻 t における太陽の高度、太陽方位、時刻 t に v_i において v_j を向いたときの車正面の方位と太陽方位の差角、そして 3 次元空間における太陽と車正面の差角を以下のように定義する。

- 時刻 t における太陽高度: θ^h
- 時刻 t における太陽方位: θ^w
- 時刻 t において辺を保持する頂点 v_i から頂点 v_j に向かっていているときの 2 次元平面における太陽方位と車正面の差角: $\hat{\theta}^w$
- 時刻 t に頂点 v_i において、 v_j 方向に向いたときの 3 次元空間における太陽と車正面の差角: $\hat{\theta}^e$

ここで、時刻 t における西日位置に応じて眼球、フロントガラス、そして建物に対するグレア発生条件 (A), (B), (C) を以下のように与える。

眼球に対するグレア発生条件:

人間の眼球に対するグレア発生領域は光源と視線方位の差角が大体 30 度以内のときといわれている [2]。この領域内に西日が位置するとき、西日グレアは発生する。ここで、太陽と車正面の差角が $\hat{\theta}^e$ のときの眼球に対する西日グレア発生条件を以下に示す。

$$\text{glEye}(\hat{\theta}^e) = \begin{cases} \text{True} & \text{if } \hat{\theta}^e < 30 \\ \text{False} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

すなわち、式 (1) の返り値が True となるとき、西日グレアは発生する (A)。

フロントガラスに対するグレア発生条件:

本研究では、自動車による移動を想定している。すなわち、自動車を運転している状況下では、図 3, 図 4 に示すように、フロントガラスを考慮した一定角度以内に西日がない場合に西日グレアは発生しない (B)。

建物に対するグレア発生条件:

本研究では、建物によって西日が隠れたり現れたりする場合も考慮した西日グレア発生の判定を行う。正確に 1 つ 1 つの建物データを表すには 3 次元空間における建物の形



図 3 縦幅概要図

Fig. 3 The vertical width.

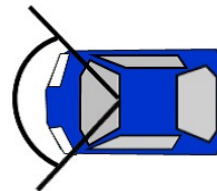


図 4 横幅概要図

Fig. 4 The horizontal width.

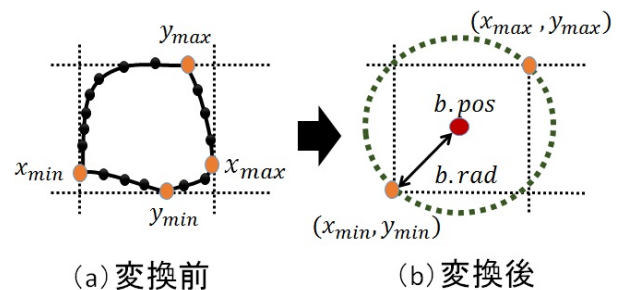


図 5 建物の変換前と変換後の平面形状

Fig. 5 Plane figures of a building before conversion and after conversion.

状を表す座標が必要となる。簡単化のため、建物の形状はすべて円柱として取り扱う。具体的には、国土地理院が提供している平面状の建物地図に基づき、各建物の外接長方形を図 5 に示すように円形に変換する。そして、これを底面とした、高さ 5 m (高さは一律) の円柱として取り扱う。以上の建物に関するパラメータを示すために、本論文において以下の記号を用いる。まず、建物集合を $V_{bu} = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ で示す。次に、各建物 b_i は、座標 $b_i.\text{pos}$, 半径 $b_i.\text{rad}$, 高さ $b_i.\text{hei}$ の 3 つの要素を持つ。そして、建物データ集合 V_{bu} に対するグレア発生条件を以下のように与える。

観測地 (車の位置) からの太陽位置を建物が遮ると、西日グレアは発生しない (図 6)。太陽と車正面の差角が $\hat{\theta}^e$ であり、頂点 v_i から v_j 方向に向いたときに、ある 1 つの建物 b_i が西日を遮るかを判定する関数を以下の式で表す。

$$\text{glBld}(\hat{\theta}^e, v_i, v_j, b_i) = \begin{cases} \text{True} & \text{if (建物 } b_i \text{ は西日を遮る)} \\ \text{False} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

すなわち、 $b_i \in V_{bu}$ の中に True となる建物が 1 つでも

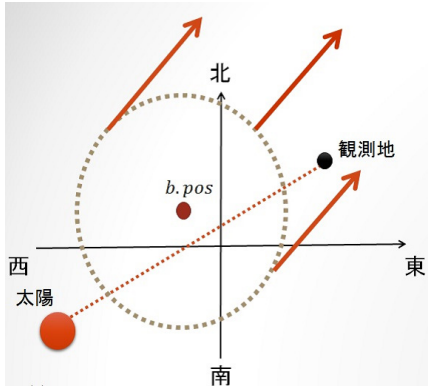


図 6 建物による西日グレア遮蔽判定の様子

Fig. 6 The judgement whether the current car position is covered with a building shadow.

あるとき、建物によって西日グレアは発生しない (C).

ここで、建物データ集合 V_{bu} が存在する地図上で、太陽と車正面の差角が $\hat{\theta}^e$ であり、頂点 v_i から v_j 方向を向いたときに、西日グレア発生を判定する関数を以下に示す。

$$\text{fgl}(\hat{\theta}^e, v_i, v_j, V_{bu}) = \begin{cases} 1 & \text{if (西日グレア発生)} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

ここで、この関数は (A) を満たし (西日グレアが発生する角度で)、(B) と (C) をともに満たさない (車体にも建物にも西日が遮られない) とき、西日グレアが発生するとして 1 を返す。そうでない場合は 0 を返す。

3.3 2 頂点間の不快感

本節では、2 頂点間における不快感算出方法について述べる。2 頂点間の不快感の算出に際して、各頂点間の移動に対する所要時間を知る必要がある。

本研究での不快感計算式は 3.2 節に示す西日グレア発生の判定アルゴリズムの返り値が 1 (西日グレア発生) の場合と 0 (西日グレア未発生) の場合に分別される。

西日グレアが発生する場合は等価光幕輝度算出式 [2] に基づいた不快感計算を行う。ここで、太陽と車正面の差角が $\hat{\theta}^e$ であり、時刻 t における太陽照度が L_{gl} のときの等価光幕輝度 $L_{eq}(\hat{\theta}^e, L_{gl})$ を以下に示す。

$$L_{eq}(\hat{\theta}^e, L_{gl}) = \frac{10 \times L_{gl}}{(\hat{\theta}^e)^2} \quad (4)$$

前述した式 (4) を用いて、建物データ集合 V_{bu} が存在する地図上で、太陽と車正面の差角が $\hat{\theta}^e$ のとき、頂点 v_i を出発して v_j に向かう場合の不快感計算式を以下に示す。

$$\text{ucm}(\hat{\theta}^e, L_{gl}, v_i, v_j, V_{bu}) = \text{trt}(v_i, v_j) \times \{\lambda \times L_{eq}(\hat{\theta}^e, L_{gl}) \times \text{fgl}(\hat{\theta}^e, v_i, v_j, V_{bu}) + 1\} \quad (5)$$

ここで、 $\text{trt}(v_i, v_j)$ は、2 つの頂点 v_i, v_j の移動に対する所要時間を表す。辺が存在しない頂点間 v_i, v_j においては、 $\text{trt}(v_i, v_j) = \infty$ と表す。また、 λ は走行時に受ける西

日グレアに対する不快さを表すパラメータであり、 $\lambda \geq 0$ の範囲で与える。そして、 $\lambda = 0$ のときは西日の眩しさを考慮しない経路を算出する。

3.4 問題の定式化

3.4.1 入力

- $G = (V_{cr}, E_{ro})$: 道路網グラフデータ。各辺は以下の項目を持つ。
 - $V_{cr} = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$: 交差点を示す頂点の集合。位置は道路地図データのいずれかの交差点を示す頂点に対応付けられている。
 - $e \in E_{ro}$: 辺の集合。各辺 e はそれぞれ移動に対する所要時間 $\text{trt}(v_i, v_j)$ と方位を持つ。
- $v_{dp}, v_{ar} \in V_{cr}$: 出発地点, 帰着地点
- t_{dp} : 出発時刻
- $V_{bu} = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$: 建物を示す頂点の集合。各建物 b_i は、座標 $b_i.\text{pos}$, 半径 $b_i.\text{rad}$, 高さ $b_i.\text{hei}$ の 3 つの要素を持つ。

3.4.2 目的関数

本研究では、出発時に出発時刻とは別に待機する待ち時間 wat を出発地点のみに対して与える。この待ち時間 wat は、出発地点以外の交差点に対しては与えられない。そして、出発地点から帰着地点までの経路を合わせて、以下のような経路 R を考える。ここで、経路 R を任意の頂点 v'_i の順列によって示す。

$$R = (\text{wat}, \langle v'_1, v'_2, v'_3, \dots, v'_j, \dots, v'_m \rangle) \quad (6)$$

経路 R の移動に対する所要時間は 3.4.1 項で前述した $\text{trt}(v_i, v_j)$ を用いて以下の式を与える。

$$\text{Rot}(R) = \text{wat} + \sum_{i=1}^{m-1} \text{trt}(v'_i, v'_{i+1}) \quad (7)$$

ここで、以下の式から、経路 R で j 番目に経由する頂点 v'_j について考える。経路 R 内で、頂点 v'_j の予想出発時刻を以下に示す。

$$\text{art}(t_{dp}, R, j) = t_{dp} + \text{wat} + \sum_{i=1}^{j-1} \text{trt}(v'_i, v'_{i+1}) \quad (8)$$

各頂点への移動における不快感計算式を定義する。出発地点 v_{dp} から帰着地点 v_{ar} までの経路は、頂点間をつなぐ辺の連続によって構成されている。

ここで、式 (5) を用いて各頂点間に対する不快感を算出することで、経路に対する不快感 $\text{ucr}(t_{dp}, \text{wat}, R, V_{bu})$ を与える。

$$\begin{aligned} \text{ucr}(t_{dp}, R, V_{bu}) &= \text{wat} + \sum_{i=1}^{m-1} \text{ucm}(\text{art}(t_{dp}, R, j), v'_i, v'_{i+1}, V_{bu}) \end{aligned} \quad (9)$$

上述の目的関数 (9) を以下のように最小化する経路 R を求めることを本問題の目的とする.

$$\text{minimize } \text{ucr}(t_{dp}, R, V_{bu}) \quad (10)$$

3.4.3 制約条件

経路 R は以下の制約条件を満たさなければならない.

- 経路の出発地点が v_{dp} で、帰着地点が v_{ar} であること.
- 経路 R を構成する辺集合は、出発地点 v_{dp} から帰着地点 v_{ar} まで途切れることなくつながっていること.

4. 提案手法

4.1 基本戦略

本研究で提案するアルゴリズムは、(1) 建物グリッド地図生成ステップ (4.2 節で後述)、(2) 不快度最小経路探索ステップ (4.3 節で後述) の 2 つのステップからなる. まず、建物グリッド地図生成ステップでは、建物地図データを、西日がなす日影の方位と建物データの高さに基づいて、選定した縦横長にそれぞれ分割した建物グリッド地図を生成する. 次に不快度最小経路探索ステップでは、3.4 節で前述したように、経路の移動に対する所要時間、西日グレアに対する不快性、待ち時間に対する不快性という 3 つの指標を用いて不快度を評価する. また、時刻に対し動的に変化する不快性に対応すべく、時刻に応じて辺の不快度を更新しながら、経路の探索を行う. 以下では、各ステップの詳細について述べていく.

4.2 建物グリッド地図生成ステップ

4.2.1 概要

本項では、建物グリッド地図生成ステップについて述べる. 本研究では、3.2 節で前述したように建物による西日グレア発生の有無を知る必要がある. つまり、道路データに加えて建物データを考慮する必要がある. そこで、図 7 に示すように、建物データを分割して管理する. これにより、各頂点の位置に応じてたどる建物リストを地図上のす

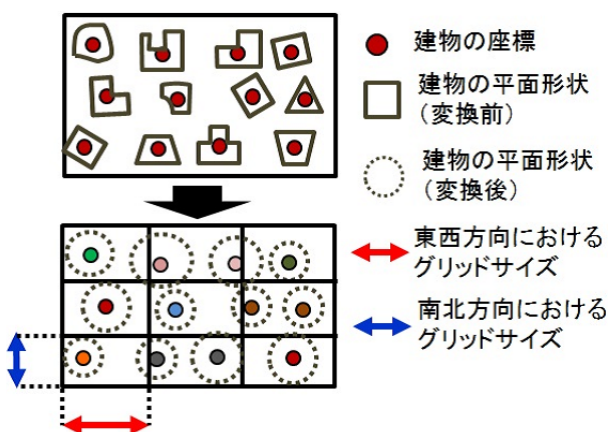


図 7 建物グリッド地図生成イメージ

Fig. 7 The concept of creating building's grid map.

べての建物データから各グリッド単位に局所化し、少ない計算量で西日グレアを考慮した経路の導出を図る.

影の長さや運転者の位置によっては自グリッド (運転者が位置するグリッド) だけでなく、自グリッドと隣り合うグリッドについても計算が必要となる. しかし、どのグリッドを計算すればよいかの計算量が増えては本末転倒である. 今回のような西日を取り扱う際、影の伸び方で計算しなければならないグリッド (西日グレアを遮蔽する建物が存在するグリッド) が決まる. そこで、日本の広島市で経路探索を行うという仮定に基づいたうえで、取り扱う影について整理する. 日本の広島県 (東経 132.27 度、北緯 34.23 度、夏至の日没時) では、南北方向には最大で建物の高さの 178.6 倍の影ができる. 東西方向には、理論上無限大まで伸びうる. ただしこれらのきわめて長い影は地球の丸み、光の減衰、周囲の山岳の影響で、他の影に隠れてしまう. 今回は、西日により影が長く伸びる方向に長辺を持つグリッドサイズを選定するとよいと考えられる. すなわち、図 7 に示すような、影の南北、東西方向への最大の長さを考慮したグリッド地図の生成を行う.

4.2.2 グリッド地図の生成

グリッド地図の生成については、建物の座標 $b_i.pos$ に基づいて建物集合 V_{bu} 内に存在する建物 b_i をそれぞれのグリッド地図へ割り当てる. グリッド地図の生成アルゴリズムを図 8 に示す. 以下でこのアルゴリズムについて解説する.

はじめに、図 5 に示すように、建物集合 V_{bu} に存在するすべての建物 b_i の外接円を算出し、その外接円の中心点と建物の半径から建物の座標 $b_i.pos$ 、建物の半径 $b_i.rad$ を算出する (Step 1). 次に、図 7 に示すように、東西方向におけるグリッドサイズと南北方向におけるグリッドサイズに基づいて、全体地図を一定間隔で区切る (適切なグリッドサイズについては 5.6 節で実験) (Step 2). 最後に、建物集合 V_{bu} に存在するすべての建物 b_i を、建物の平面図の外接長方形における中心座標 $b_i.pos$ に基づき割り当てる (Step 3). $b_i.rad$ の大きさから建物が隣の地図にはみ出していても、そちらには割り当てない.

4.2.3 走査対象グリッド地図の抽出

走査対象グリッド地図の抽出については、時刻 t において、現在地 pos_{cur} に建物の影が届きうるグリッド地図を走査対象グリッド地図として抽出する.

- Step 1:** 建物集合に含まれるすべての建物に対し、平面形状の最小座標と最大座標に基づき (図 5 (a)), 建物の座標と建物の半径を算出 (図 5 (b))

Step 2: 全体地図を東西方向と南北方向のグリッドサイズに基づいて一定間隔で分割 (図 7)

Step 3: 建物の座標が位置するグリッド地図へ各建物を割り当て

図 8 グリッド地図生成アルゴリズム

Fig. 8 The grid map creating algorithm.

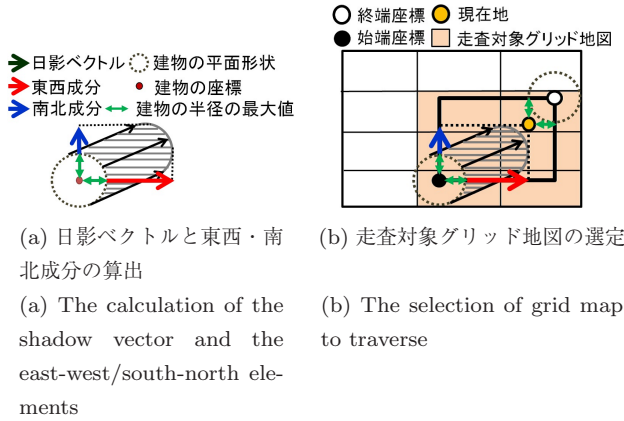


図 9 走査対象グリッド地図抽出の様子

Fig. 9 The concept of selection of grid map to traverse.

具体的には、まず、地図上の各々の“建物の高さ”については、簡単化のため、一律 5m とする。そのため、すべての“建物の高さの最大値” hei_{max} には 5m が与えられる。地図上の各々の“建物の半径”については、ある建物の平面形状における重心から、その建物の外周への最大距離を“建物の半径 ($b_i.rad$)”とする。この建物の半径は、各建物に対して 1 つずつ与えられる。そのため、すべての建物 V_{bu} の中での、“建物の半径の最大値” rad_{max} は、以下のよう算出される。

$$rad_{max} \leftarrow \max_{b_i \in V_{bu}} (b_i.rad) \quad (11)$$

次に、算出した rad_{max} , hei_{max} を用いて、 pos_{cur} に影が届きうる建物が位置する可能性がある領域を算出する。この領域の算出については、日影ベクトル $\vec{s}$ (図 9(a): 黒矢印) を用いる。本論文において、日影ベクトルとは、高さが hei_{max} であるきわめて細い円柱状の建物がなす日影の東西成分 $\vec{s}.ew$ および南北成分 $\vec{s}.sn$ を要素として持つベクトルと定義する。ここで、太陽高度が θ^h のときに、建物の高さの最大値が hei_{max} における、太陽日影ベクトルの長さの算出式を以下に示す。

$$\text{len}(hei_{max}, \theta^h) = 1 / \tan(\theta^h) \times hei_{max} \quad (12)$$

式 (12) を用いて、日影ベクトルの各要素を以下のように定義する。

- 時刻 t における日影ベクトルの東西方向への長さ (東西成分 (図 9(a): 赤矢印)): $\vec{s}.ew$ 。ただし、 $\vec{s}.ew = |\cos(\theta^w) \times \text{len}(hei_{max}, \theta^h)|$
- 時刻 t における日影ベクトルの南北方向への長さ (南北成分 (図 9(a): 青矢印)): $\vec{s}.sn$ 。ただし、 $\vec{s}.sn = |\sin(\theta^w) \times \text{len}(hei_{max}, \theta^h)|$

これらを用いて、南西方向の最も遠くから現在地へ影の届きうる“始端座標 bgn”を算出する。bgn の x 座標 $bgn.x$ および y 座標 $bgn.y$ をそれぞれ以下のように算出する。

$$bgn.x = pos_{cur}.x - (\vec{s}.ew + rad_{max}) \quad (13)$$

Step 1: 時刻 t における日影ベクトルを算出
 Step 2: 日影ベクトルの東西成分 (図 9(a): 赤矢印) と日影ベクトルの南北成分 (図 9(a): 青矢印) を算出
 Step 3: 始端座標 (図 9(b): 黒点) と終端座標 (図 9(b): 白点) を算出
 Step 4: グリッド地図抽出境界矩形 (図 9(b): 黒線の矩形) に一部でも重なり合うグリッド地図をすべて、走査対象グリッド地図として抽出

図 10 走査対象グリッド抽出アルゴリズム

Fig. 10 The selection algorithm of grid map to traverse.

$$bgn.y = pos_{cur}.y - (\vec{s}.sn + rad_{max}) \quad (14)$$

そして、北東方向の最も遠くから現在地へ影の届きうる“終端座標 end”を算出する。end の x 座標 $end.x$ および y 座標 $end.y$ をそれぞれ以下のように算出する。

$$end.x = pos_{cur}.x + rad_{max} \quad (15)$$

$$end.y = pos_{cur}.y + rad_{max} \quad (16)$$

最後に、始端座標および終端座標を対角頂点とする矩形に一部でも重なり合うすべてのグリッド地図を走査対象グリッド地図として抽出する。これにより、 pos_{cur} に影が届きうる建物が位置する可能性があるすべてのグリッド地図を抽出できる。ここで、走査対象グリッド地図の抽出アルゴリズムを図 10 に示す。以下では、このアルゴリズムについて解説する。

はじめに、時刻 t における太陽の位置、および建物の高さの最大値 hei_{max} に対する日影ベクトルを求める (Step 1)。

次に、建物の日影ベクトルから、建物の日影ベクトルの東西成分 (図 9(a): 赤矢印) と南北成分 (図 9(a): 青矢印) を算出する (Step 2)。

その後、南西方向の最も遠くから現在地に影の届きうる“始端座標” (図 9(b): 黒点) を算出する (Step 3)。ここで、始端座標の算出方法は以下のとおり: 現在地の x 座標 $pos_{cur}.x$ から西に“東西ベクトル+建物の半径の最大値 rad_{max} ”移動した点を始端座標の x 座標とし、同様に、現在地の y 座標 $pos_{cur}.y$ から南に“南北ベクトル+建物の半径の最大値 rad_{max} ”移動した点を始端座標の y 座標とする。

加えて、北東方向の最も遠くから現在地に建物の平面形状が重複しうる“終端座標” (図 9(b): 白点) を算出する。ここで、終端座標の算出方法は以下のとおり: 現在地の x 座標 $pos_{cur}.x$ から東に“建物の半径の最大値 rad_{max} ”移動した点を終端座標の x 座標とし、同様に、現在地の y 座標 $pos_{cur}.y$ から北に“建物の半径の最大値 rad_{max} ”移動した点を終端座標の y 座標とする。

最後に、始端座標と終端座標を対角頂点として持つグリッド地図抽出境界矩形 (図 9(b): 黒線の矩形) に一部でも重なり合うグリッド地図をすべて、走査対象グリッド地図として抽出する (Step 4)。

本研究では、日本における西日を対象としているため、

影は必ず北東方向に伸びると仮定している．太陽が運転者より東側に位置する場合（朝日を取り扱う場合等）は，建物の半径の最大値 $\text{rad}_{\max}$ を逆側に足し引きすることで対応できる．また，南北方向においても同様である．これにより，車の位置 pos_{cur} から影の逆方向を計算し，“その車の位置に影が届く建物”を1つでも含むうるすべてのグリッド地図を算出することができる．

4.3 不快感最小経路探索ステップ

本節では，不快感最小経路探索ステップについて述べる．本研究の不快感最小経路探索アルゴリズムを図 11 に示す．

このアルゴリズムは移動に対する所要時間に加えて，出

```

1: /* ダイクストラ法で最短経路の探索 */
2:  $\text{shtRt} \leftarrow \text{MTDA}(G, v_{dp}, v_{ar})$  //  $\text{shtRt}$ : 最短経路での所要時間
3:  $\text{wat} \leftarrow 0$  //  $\text{wat}$ : 待ち時間
4:  $\text{minucr} \leftarrow \infty$  //  $\text{minucr}$ : 経路の最小不快感
5: /* 出発地点待ち時間に対する繰返し */
6: while  $\text{shtRt} + \text{wat} < \text{minucr}$  do
7:   /* 各頂点  $v$  の初期化 */
8:   foreach  $v \in V_{cr}$  do
9:      $v.\text{ucr} \leftarrow \infty$  //  $v.\text{ucr}$ : 到達時の最小不快感
10:     $v.\text{art} \leftarrow \infty$  //  $v.\text{art}$ : 予測到達時刻
11:     $v.\text{prev} \leftarrow \text{empty}$  //  $v.\text{prev}$ : 直前の通過頂点
12:   end foreach
13:   /* 出発地点の初期化 */
14:    $v_{dp}.\text{ucr} \leftarrow \text{wat}$ 
15:    $v_{dp}.\text{art} \leftarrow t_{dp} + \text{wat}$ 
16:    $Q \leftarrow V_{cr} \setminus \{v_{dp}\}$  //  $Q$ : 未探索頂点の集合
17:   /* 各頂点への不快感最小経路の探索 */
18:   while  $v_{ar} \in Q$  do
19:     /* 未探索頂点で到達時の不快感が最小の頂点を選択 */
20:      $v_j \leftarrow \arg \min_{v_j \in V_{cr}} (v_j.\text{ucr})$  //  $v_j$ : 探索中の頂点
21:     if  $\text{minucr} < v_j.\text{ucr}$  then
22:       break
23:     end if
24:      $Q \leftarrow Q \setminus \{v_j\}$  // 頂点  $v_j$  を探索済みとする
25:     /*  $v_j$  の隣接頂点に対する繰返し */
26:     foreach  $v_i \in \text{neighbor}(v_j)$  do
27:       if  $v_i.\text{ucr} > v_j.\text{ucr} + \text{ucm}(v_j.\text{art}, v_j, v_i, V_{bu})$  then
28:          $v_i.\text{ucr} \leftarrow v_j.\text{ucr} + \text{ucm}(v_j.\text{art}, v_j, v_i, V_{bu})$ 
29:          $v_i.\text{art} \leftarrow v_j.\text{art} + \text{trt}(v_j, v_i)$ 
30:          $v_i.\text{prev} \leftarrow v_j$ 
31:         if  $v_i = v_{ar} \wedge \text{minucr} > v_{ar}.\text{ucr}$  then
32:            $\text{minucr} \leftarrow v_{ar}.\text{ucr}$ 
33:         end if
34:       end if
35:     end foreach
36:   end while
37:    $\text{wat} \leftarrow \text{wat} + 1$ 
38: end while

```

図 11 時刻に対する優先度待ち行列付きダイクストラ法

Fig. 11 Dijkstra algorithm with priority queue for time.

発時の待ち時間と西日グレアを考慮した経路の探索を行う．すなわち，出発時刻を順次遅らせながら（待ち時間の探索），出発地点から帰着地点までの経路探索（経路の探索）を繰り返すことで，不快感を最小化するための待ち時間と経路の組合せを求める．

経路の探索：

経路探索については，時刻に対する優先度待ち行列付きダイクストラ法を用いる．通常のダイクストラ法は地図上の各頂点 v へ到達するための移動コスト $v.\text{ucr}$ のみを優先度待ち行列に追加しながら，経路を探索していく．一方，提案するダイクストラ法は，頂点 v に到達するための移動コストに加えて，到達時刻 $v.\text{art}$ も同時に追加していく（line 28）．また，出発地点への到達時刻 $v_{dp}.\text{art}$ には出発時刻 t_{dp} に待ち時間を加味した時刻が与えられる（line 14）．この改良によって，その頂点から探索を再開した際の西日の眩しさを考慮した経路を求めることが可能となる．

待ち時間の探索：

適切な待ち時間については，経路の探索を繰り返しながら探索していく．はじめに，ダイクストラ法 $\text{MTDA}(G, v_{dp}, v_{ar})$ で最短経路を探し，最短経路での所要時間（ shtRt ）を保存しておく（line 2）．次に，待ち時間を 0 とし（line 3），「待ち時間 0 の場合の不快感最小経路およびそのときの不快感」を求める．その後，待ち時間を 1 分だけ増加させ（line 37），再び不快感最小経路およびそのときの不快感を求める．この過程を繰り返しながら，これまでに見つかった最小の不快感およびその経路を保存しておき（line 32），最短経路での所要時間（ shtRt ）と待ち時間（ wat ）の和が，現在見つかった経路の最小不快感（ minucr ）を上回ったとき，この繰返しを終了する（line 6）．これは，辺に与えられた不快感は非負であり，経路の不快感は，経路を構成する辺の増加にともない単調増加するためである．すなわち，出発点のみの経路（辺の本数は 0）に新たに辺が加わった場合，出発点のみの経路の不快感（待ち時間のみの不快感）を下回ることはないためである．繰返し終了後，このアルゴリズムは，各頂点に対する直前の通過頂点と不快感を含む頂点集合を返す．これにより，出発地点から帰着地点までの経路とその不快感を計算することができる．

5. 評価実験

5.1 実験目的

西日の位置変化による不快感の影響および，西日のある状況下における提案手法の経路探索能力を評価するため，国土地理院が発行している広島市内の地図 [9] に対して提案手法を適用し，得られた経路の不快感を計測した．

また，建物データを西日により影が伸びる方向に長辺を持つ長方形グリッドを用いて，各グリッド単位で管理することの効果の評価するために，建物データとして正方形グ

リッドを用いた場合との比較を行った。以下では、提案手法を不快感最小ダイクストラ法 (Minimize Uncomfortable Dijkstra Algorithm, 以下, MUDA) として示す。

5.2 実験環境

本実験における環境は以下のとおりである。

- OS: Microsoft Windows 7 Professional Version6.1 Service Pack 1
- CPU: Intel(R) Core(TM) i5-3340M 2.70 GHz
- メモリ: 4.00 GB
- コンパイラ: gcc version 4.7.3

5.3 比較手法

本研究では、西日グレアを避けるため、最短経路から迂回を許す問題となっている。そこで、この効果を評価するため、西日グレアを考慮しないダイクストラ法 (Minimize Travel time Dijkstra Algorithm, 以下, **MTDA**) を比較手法として用いる。これに対し、提案手法を西日を考慮したダイクストラ法 (Minimize Uncomfortable Dijkstra Algorithm, 以下, **MUDA**) として示す。

5.4 出発時刻の変化における不快感の評価

5.4.1 実験概要

本実験では、出発時刻の変化による不快感の影響を調べるため、出発時刻を変化させ、各出発時刻ごとに得られた経路の不快感を計測した。また、本問題に対する提案手法の有効性を評価するため、西日グレアを考慮した経路探索法 (MUDA, 提案手法) と西日グレアを考慮しない経路探索法 (MTDA, 比較手法) とで得られた経路の不快感を計測し、比較した。

5.4.2 実験条件

本実験で使用したパラメータおよびインスタンスは以下のとおりである。

- 西日に対する不快感パラメータ: $\lambda = 1$
- フロントガラス上端角度: 25 度
- フロントガラス下端角度: -5 度
- フロントガラス左端角度: -50 度
- フロントガラス右端角度: 50 度
- 出発時刻: 16:30~19:30 で 30 分間隔ごと

また、インスタンスとして交差点を示す頂点数 22,296, 建物を示す頂点数 150,838 を持つ広島市内の地図 [9] を用いた。

5.4.3 実験結果

実験結果を図 12 に示す。このグラフは縦軸が不快感を、横軸が出発時刻 (t_{dp}) を示している。

17:00~18:30 の不快感に着目すると、MTDA が導出した経路 (最短経路) の不快感はそれ以外の出発時刻の場合に比べ大きい。この結果から、経路に対する西日グレアの

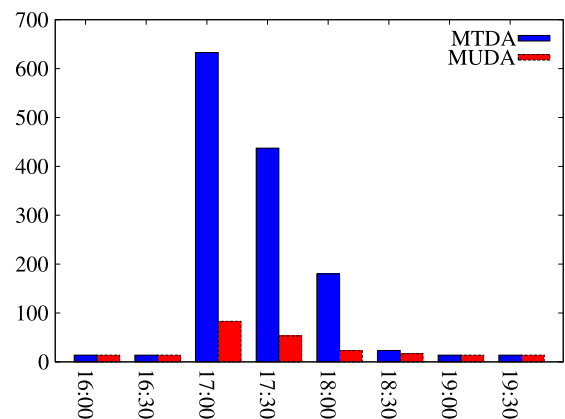


図 12 各出発時刻 (t_{dp}) における経路の不快感

Fig. 12 Route unsatisfaction degrees in each departure time.

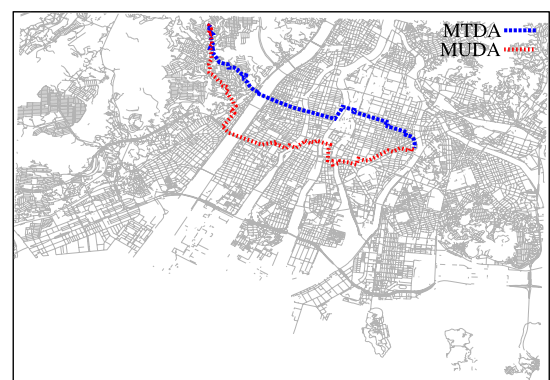


図 13 出発時刻 (t_{dp}) が 18:00 の場合の経路

Fig. 13 Routes in the case of the departure time (t_{dp}) 18:00.

影響は時々刻々と変化していることが分かる。

次に、MTDA と MUDA がそれぞれ導出した経路の不快感に着目する。まず、出発時刻が 17:00~18:30 の場合に、MTDA が導出した経路の不快感が MUDA が導出した経路の不快感を上回っていることが分かる。また、出発時刻 (t_{dp}) が 17:00 の場合、MUDA は MTDA に比べ、不快感が 87% 少ない経路を導出している。この結果から、MTDA は移動に対する所要時間のみを考慮した経路を導出したため、西日グレアを避けられず、不快感が高くなったと考えられる。

ここで、出発時刻を 18 時としたときの MUDA と MTDA の経路の一例を図 13 に示す。また、図 14 では、MUDA と MTDA が導出した経路において、西日グレアの発生により眩しさを感じた部分すなわち、式 (3) の返り値が 1 であった部分を示している。また、MUDA は 4 分待った後に出発するスケジュールを導出した (MTDA は待ち時間を考慮しない)。すなわち、MUDA は、出発時刻から少し待つことで、ある程度建物が西日を遮蔽しやすくなった後に、移動を開始するスケジュールを導出したと考えられる。そのため、MTDA では西日グレアが発生した経路と重複する経路を導出したが、MUDA は、西日グレアが発生しないタイミングで移動できたと考えられる。

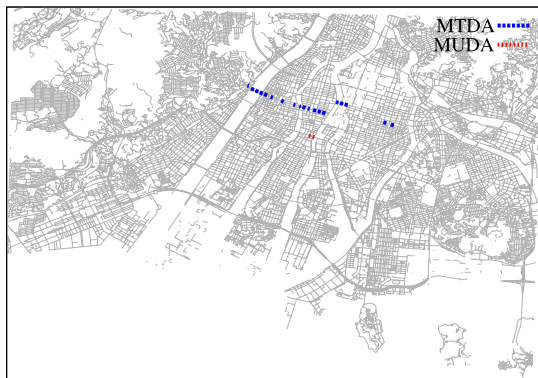


図 14 出発時刻 (t_{dp}) が 18:00 の場合のグレアが発生した部分経路
Fig. 14 Partial routes occurring glare in the case of the departure time (t_{dp}) 18:00.

また、図 13 において、MTDA と MUDA で経路の異なる部分に着目する。図 14 より MTDA が導出した経路では、西日グレアが発生しているが、MUDA が導出した経路では西日グレアが発生していないことが分かる。このように、少し迂回し西日グレアが発生しない経路を選択したことが、MUDA が不快度の低い経路を導出したことにつながったと考えられる。

5.5 出発・帰着地点の方角に関する評価

5.5.1 実験概要

5.4.3 項では、西日グレアが発生しやすい方位関係の出発・帰着地点間で実験した。そこで、地図上からランダムに出発・帰着地点を選定した場合においても、MUDA が有効に働くかを調べることを目的として実験を行った。

本実験では、出発・帰着地点の方位関係に基づいたインスタンスパターンを生成し、各インスタンスに対して、MUDA を適用した場合とそうでない場合において導出した経路とその不快度を比較した。

5.5.2 実験条件

本実験で使用したパラメータおよびインスタンスは以下のとおりである。

- 西日に対する不快度パラメータ： $\lambda = 1$
- 出発時刻：17:00

また、フロントガラスの角度のパラメータと広島市内の地図 [9] については、5.4.2 項と同様のものを用いた。生成した出発・帰着地点の方角に関するインスタンスパターンは以下のとおりである。

- インスタンス東西：東側から出発し、西側へ帰着
- インスタンス西東：西側から出発し、東側へ帰着
- インスタンス南北：南側から出発し、北側へ帰着
- インスタンス北南：北側から出発し、南側へ帰着

本実験では、広島市内中心部を示す、南北 10km、東西 12km の地図を用いている。インスタンス東西は、出発地点から西方へ 45 度以内に位置する交差点からランダムに

表 1 各出発・帰着地点パターンで導出した経路の不快度

Table 1 The unsatisfaction degrees in each combination of departure-and-destination vertices.

	MUDA	MTDA
インスタンス東西	93.091	1,309.485
インスタンス西東	24.575	24.575
インスタンス南北	55.185	78.862
インスタンス北南	7.758	9.535

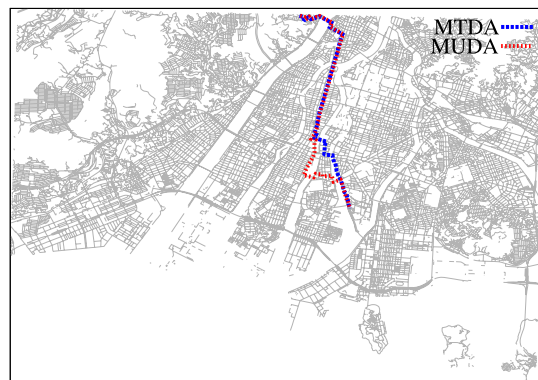


図 15 インスタンス南北における経路の一例

Fig. 15 Routes in south-north instance.

選択することで生成した。他のインスタンスについても、同様に地図上に定めた出発地点から一定の角度以内に位置する帰着地点のランダム選択を繰り返すことで生成した。

5.5.3 実験結果

各インスタンスを出発地点と帰着地点を変えながら、30 回ずつ発生させて実験を行ったときに、得られた平均不快度を表 1 に示す。

表 1 より、インスタンス東西（西日が進行方向に対し正面）では、MTDA に比べ、MUDA の方が不快度の低い経路の探索に成功している。これは、東から西へ移動する際に、西日が眩しい経路をうまく避けたためと考えられる。また、インスタンス西東（西日が進行方向に対して背面）では、両手法ともほぼ同等の不快度の経路を求めている。これは、西から東への移動の最中に、西日グレアが発生する経路が少なかったためと考えられる。

しかし、インスタンス南北（西日が進行方向に対して側面）に対し、MTDA に比べ、MUDA の方が不快度の低い経路を求めている。そこで、不快度の差の原因を調べるため、インスタンス南北群で導出された経路について調査した。得られた経路の一例を図 15 に示す。また、インスタンス南北において、西日グレアの発生により眩しさを感じた部分すなわち、式 (3) の返り値が 1 であった部分を図 16 に示す。出発点と帰着点は南から北へ向かう位置関係であるが、帰着点へ到達するために東から西へまたがる橋をわたる必要がある。このとき、MTDA で求めた経路の不快度が 221.958 であるのに対し、MUDA では 96.228 とおよそ 2.3 倍程度の不快度の差が現れた。これは、MTDA は単に

表 2 各グリッドサイズでの経路導出時間

Table 2 Computation times in the case of using each grid sizes.

東西 [m] / 南北 [m]	5	10	20	50	100	200	500	1,000
5	2,776.927	1,486.502	824.044	443.619	329.349	305.777	368.194	520.497
10	1,460.777	811.767	493.088	308.913	264.421	268.119	375.729	541.152
20	846.805	486.629	329.162	256.169	239.94	255.561	352.531	510.218
50	423.699	299.101	254.999	236.067	250.912	257.308	368.865	539.904
100	309.396	248.338	220.633	224.641	255.41	275.015	400.548	592.616
200	270.443	241.427	231.334	253.932	263.189	316.105	467.457	699.556
500	301.893	293.344	294.826	314.03	352.515	430.547	651.616	999.374
1,000	400.08	398.707	407.257	440.703	498.251	614.285	948.908	1,474.584

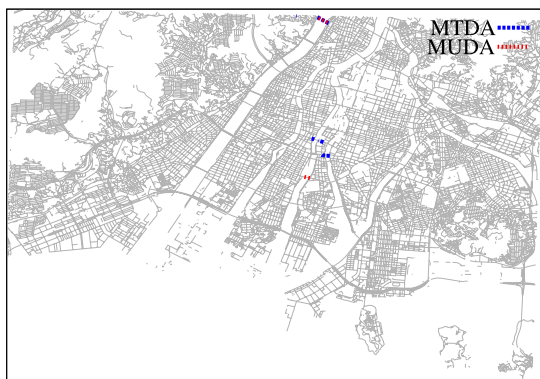


図 16 インスタンス南北におけるグレアが発生した部分経路

Fig. 16 Partial routes occurring glare in south-north instance.

最短で移動するための経路を導出した一方で、MUDA は、出発時に 71 分待ち、なおかつ、橋を通過する前に迂回することで、西日グレアの影響が弱くなるタイミングを見計らって橋を移動したためと考えられる。

この結果から、インスタンス南北に対しても、図 15 に示すような東から西への移動を含む場合は MUDA が有効に働くときもあると考えられる。

また、インスタンス北南も似た結果が出ているので、おそらく同様の原因によるものであると考えられる。

5.6 建物グリッド地図の生成パターン評価実験

5.6.1 実験概要

本実験では、建物データを各グリッド単位で管理する際、建物の日影の伸びる方向に長辺を持つグリッドサイズを選定する MUDA の計算時間の削減効果の評価することを目的として実験した。そのため、グリッドサイズを東西方向と南北方向に変化させ、各グリッドサイズで経路導出にかかった時間を計測した。

5.6.2 実験条件

本実験で使用したパラメータおよびインスタンスは以下のとおりである。

- 西日に対する不快度パラメータ： $\lambda = 1$
- 出発時刻：17:00

また、フロントガラスの角度のパラメータと広島市内の

地図 [9] については、5.4.2 項と同様のものを用いた。

5.6.3 実験結果

実験により得られた各グリッドサイズでの経路導出に要した計算時間を表 2 に示す。セル内が塗りつぶされている部分は、240 秒以内に経路の導出に成功したグリッドサイズを示す。これらの塗りつぶされたグリッドサイズに着目すると、すべての場合でグリッドの面積が、2,000～5,000 [m²] であることが分かる。この結果から、グリッドの面積、すなわち、各グリッドに収まる建物の密度に依存して計算時間が変化すると考えられる。

また、最も計算時間が少ない経路を導出したのは、東西 100m、南北 20m のときであり、分割しない場合に比べて 98%、正方形グリッドを用いた最良の場合に比べて 9% 少ない計算時間で経路を導出している。この結果から、影が長く伸びる方向に長辺を持つ長方形グリッドを用いることで、経路導出時間を削減することができたと考えられる。

5.7 西日の不快さを表すパラメータに関する評価

5.7.1 実験概要

本実験では、走行時に受ける西日グレアに対する不快さを表すパラメータ λ が、経路に及ぼす影響を調べるため、 λ を変化させ、各々で得られた経路を比較した。

5.7.2 実験条件

本実験で使用したパラメータおよびインスタンスは以下のとおりである。

- 西日に対する不快さを表すパラメータ： $\lambda = 0, 1, \infty$
- 出発時刻：18:00

また、フロントガラスの角度のパラメータと広島市内の地図 [9] については、5.4.2 項と同様のものを用いた。

5.7.3 実験結果

各 λ 値で得られた経路を図 17 に、各西日の不快さを表すパラメータ値で得られた移動に対する所要時間（待ち時間を含む）と移動中に眩しさを感じた時間を表 3 に示す。

図 17 を見ると、 λ の値が大きくなるにつれて、大きく迂回した後に帰着点へ向かう経路を導出していることが分かる。

次に、表 3 を見ると、 $\lambda = 0$ のとき、移動に対する所要

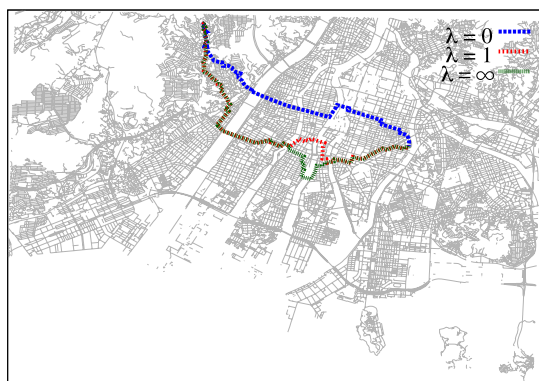


図 17 各西日の不快さを表すパラメータ値 (λ) における算出経路
Fig. 17 Routes in the case of using each λ .

表 3 各西日の不快さを表すパラメータ値で得られた移動に対する所要時間と移動中に眩しさを感じた時間

Table 3 The traveling time and occurring glare time in the case of using each value of λ .

	移動に対する所要時間 (待ち時間を含む)	移動中に眩しさを感じ た時間
$\lambda = 0$	13.831 [min]	2.932 [min]
$\lambda = 1$	20.463 [min]	0.032 [min]
$\lambda = \infty$	24.45 [min]	0 [min]

時間 (待ち時間を含む) は 13.831 [min] であり, 移動中に眩しさを感じた時間が 2.932 [min] である経路を算出している. 一方, $\lambda = \infty$ のとき, 移動中の眩しさをまったく感じない経路を得るために, 最短経路に比べ, 移動に対する所要時間 (待ち時間を含む) が 10.619 [min] 長い経路を算出している. この結果から, λ が ∞ に近づくにつれて, 最短経路から移動に対する所要時間 (待ち時間を含む) は長くなるが, 移動中に眩しくない時間は短くなると考えられる.

加えて, $\lambda = 1$ の場合, 移動に対する所要時間 (待ち時間を含む) が 20.463 [min] であり, 移動中に眩しさを感じた時間がわずか 0.032 [min] の経路を算出している. この経路において, 移動に対する所要時間 (待ち時間を含む) は $\lambda = \infty$ の場合に比べ, 4.4 [min] 短く, なおかつ移動中に眩しさを感じた時間は $\lambda = 0$ の場合に比べ, 2.9 [min] 短いことが分かる. この結果から, 適切な λ を選択することで, ほどよく移動中に眩しさを感じる時間を抑える経路を算出できると考えられる.

6. おわりに

本研究では, 西日グレアという時刻に対し動的に変化する不快性を取り扱うための経路探索手法を提案した. 本手法はダイクストラ法に基づいた近似アルゴリズムであり, 各頂点への予測到達時刻に応じて, 辺の不快度を更新しながら, 経路探索を行う点に特色がある. これにより, 時刻に応じて動的に変化する不快度を考慮した経路探索が可能となった. また, 建物による西日グレアの遮蔽を取り入れ

た際, 西日により影が長く伸びる方向に長辺を持つ長方形グリッドを用いることで, 計算時間の削減を図った.

本手法の評価のため, グリッドサイズを東西方向, 南北方向に変化させ, 各グリッドサイズでの経路導出時間を比較した. 結果, 西日による影が伸びる方向に長辺を持つ長方形グリッドを用いることで, 正方形グリッドを用いた最良の場合に比べて 9% 少ない計算時間で経路を導出することに成功した.

今後の課題として, 時間拡大ネットワーク上で最短経路を求めることで最適経路を求めることができるので, 最適解との比較実験があげられる. また, A^* 探索を用いることでアルゴリズムに工夫を加えることもあげられる. さらに, 今回は出発時点でのみ待ち時間を持つことができるモデルであるが, 各交差点でも待つことができるモデルへの拡張が考えられる. このモデルでは, 建物の影となる交差点で一時的に隠れるような効果が期待できるが, 解空間が大きくなるため, 探索アルゴリズムの工夫が必要となると考えられる. また, 実際には交差点で停車すると道路交通法上で問題となるため, 解表現の拡張 (交差点手前の道路脇で待つ等) が必要となると考えられる. 加えて, 地点間の高低差を考慮した経路探索実験, 各日付と有効なグリッドサイズの法則性の調査も今後の課題である.

参考文献

- [1] Pires, C.S.G., de Aguiar, M.S. and Ferreira, P.R.: Mobile ACORoute: Route Recommendation Based on Communication by Pheromones, *Research in Computing Science* 86 (2014).
- [2] Vos, J.J.: On the cause of disability glare and its dependence on glare angle, age and ocular pigmentation, *Clinical and Experimental Optometry*, Vol.86, No.6, pp.363–370 (2003).
- [3] Ochiai, J. and Kanoh, H.: Solving Real-World Delivery Problem Using Improved Max-Min Ant System with Local Optimal Solutions in Wide Area Road Network, *International Journal of Artificial Intelligence & Applications*, Vol.5, No.3, pp.21–36 (2014).
- [4] Rosyibi, L., Pradityo, H.P., Funawan, D. and Sar, R.F.: Timebase Dynamic Weight for Dijkstra Algorithm Implementation in Route Planning Software, *International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid* (2014).
- [5] Joshi, N., Tripathy, A.K., Sawant, S., Patel, T., Waghmare, S. and Clusher, B.: Near Real Time Vehicle Tracking Using GIS, *International Conference on Technologies for Sustainable Development* (2015).
- [6] 榎本真也, 高橋和子: 定性空間表現上での位置の高低差を考慮した経路探索システム, *The 27th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence* (2013).
- [7] 狩野 均, 中村信昭, 中村友洋: 知識集団を用いた GA による不特定な立ち寄り地を含む経路探索, *人工知能学会論文誌*, Vol.17, No.2 (2002).
- [8] 株式会社 NTT DATA: 世界最高精度の全世界デジタル 3D 地図を提供開始 (2014).
- [9] 国土地理院: 数値地図 25000 (空間データ基盤) について,

- 国土交通省 (オンライン), 入手先 (<http://www.gsi.go.jp>).
- [10] 総務省:平成 26 年版情報通信白書.
- [11] 原 健太, 塚原壮一, 狩野 均, 曾田敏弘, 黒川 久: 多目的遺伝的アルゴリズムを用いたカーナビゲーションのための予測経路探索, 社団法人情報処理学会研究報告 (ITS 高度交通システム), pp.31–38 (2006).
- [12] 平林裕司, 吉澤 顕, 近藤賢志, 奥谷知克, 吉田悠一: デンソーの情報通信技術動向, デンソーテクニカルレビュー, Vol.18 (2013).



松田 大樹

2014 年広島市立大学情報科学部システム工学科卒業. 2016 年広島市立大学大学院情報科学研究科システム工学専攻修了. 現在, (株) NTT DATA 中国に勤務.



村田 佳洋 (正会員)

2003 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了. 同年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手. 2007 年より現在, 広島市立大学大学院情報科学研究科准教授. 遺伝的アルゴリズム, エージェント技術等の研究に従事.