

環境設計支援手法としての緑視率測定と拡張現実機能を有する Diminished Reality システム

○井上 和哉*¹ 福田 知弘*²
矢吹 信喜*³ Ali Motamedi*⁴

キーワード：緑視率 Diminished Reality Augmented Reality 環境設計支援 Structure from Motion

1. はじめに

ヒートアイランドの緩和や景観の質向上、生物多様性の改善に向けて、都市部で緑化が推進されている。緑化を効率的に行い、客観的に評価するためには、緑量の定量化が重要であり、定量化指標の一つとして、緑視率がある¹⁾。

緑視率は、視界の中に占める自然の緑の割合を示す指標である²⁾。平面的にとらえる緑被率と比較して、緑視率は空間的に緑をとらえられる。また、視覚的な実感に近い指標であるため、都市景観の良好さと関連があると期待されている³⁾。近年では、市民が実感できる緑を創出する需要が高まっていることから、エンドユーザーも直感的に理解しやすい緑視率への期待が高まっている⁴⁾。加えて、新築や増改築する場合において、景観形成基準の一つとして緑視率の基準を定めた自治体もある⁵⁾。

緑視率は、一般的に、緑視率を計測する適切な視点と方向を定めて写真撮影した後、画像編集ソフトウェアを用いて、手動で緑視部をマスキングし、抽出された領域の画素数を全体の画素数で除して、緑視率を測定する（以下、マニュアル手法とする）。マニュアル手法の課題は、マスキングに時間を要することと測定者により測定値にバラつきが発生することである。

そこで、自動的に緑視率を測定する研究が行われている。小宮ら⁶⁾は、航空機 LiDAR と航空写真を用いて、路上の任意の視点からの緑視率を推定する手法を提案した。広範囲の緑視率を効率的に推定できる一方で、奥行きが少ない生垣や壁面緑化の測定が困難である。Li ら⁷⁾は、Google Street View（以下、GSV とする）から取得した景観画像に対し画像解析を行うことで、緑視率を測定する手法を提案した。GSV により現地での写真撮影なしに緑視率測定が可能である一方で、任意の時期での緑視率測定は困難である。また、これらの研究では、静止画像を用いて、緑視率を測定する。そのため、歩行中の景観の変化のような動視点での緑視率測定が困難である。

Ding ら⁸⁾は、画像解析技術により動画像中の緑視率を自動で測定し、また、AR (Augmented Reality) を用いて植栽設計をシミュレーションするシステムを開発した。このシステムにより、設計前後の緑視率の変化を確認しながら、視覚的に植栽設計を行うことが可能となった。しかし、

正確な測定を行うためには、数十秒の処理時間を必要とするため、動きながらの景観検討や移動中の緑視率の変化の測定は実用上困難である。更に、このシステムは植栽設計の検討は可能であるが、新設もしくは増築する構造物と同時に設計検討することはできない。より良好な都市景観を保全するためには、緑だけでなく、緑と構造物を総合的にとらえた景観を検討する必要がある。

一方で、構造物の設計検討を行う手法の一つとして、AR が着目されている^{9) 10)}。また、AR に内包される技術として、実世界に存在する物体を消去したように見せる DR (Diminished Reality)¹¹⁾ がある。筆者らの先行研究¹²⁾では、DR に着目し、既設構造物を解体撤去した後に新設される構造物の景観検討を行うシステム「PhotoDR-2015」を開発した。PhotoDR-2015 は、複数枚の画像からカメラの撮影位置や向きを算出するフォトグラメトリ技術を利用して現在のカメラの位置・姿勢を推定し、また、フォトグラメトリを基にして作成した既設構造物とその背面に位置する構造物の 3D モデルを使用することで、既設構造物解体撤去後の景観シミュレーションを可能とした。

そこで、本研究では、緑視率を測定しながら、構造物や植栽設計を行う環境支援システムを開発することを目的とする。まず、緑視率をリアルタイムに測定するため、新しいシステムフローを提案する。加えて、実装したシステムを用いて、パラメータスタディと実地で緑視率の測定を行い、正解画像と比較することでシステムの性能を検証した。更に、開発した緑視率測定モジュールを PhotoDR-2015 に統合した（以下、本システムを PhotoDAR-2016 (DAR : Diminished and Augmented Reality) とする）。PhotoDAR-2016 を用いて、実地で構造物と植栽の新設案のシミュレーションを行い、既設構造物周辺と新設構造物周辺の緑視率を比較し、システムの妥当性を検証した。

2. 緑視率測定システム

提案するシステムのフローを図 1 に示す。Ding ら⁸⁾のシステムに画像サイズの縮小、拡大を加えた。Web カメラ等から取得された実写画像に対し、適正值に縮小して緑視部抽出処理を行うことでリアルタイムでの緑視率計測が可能とする。また、緑視部として抽出された画素数を全体画像サイズで除した値が緑視率として出力される。

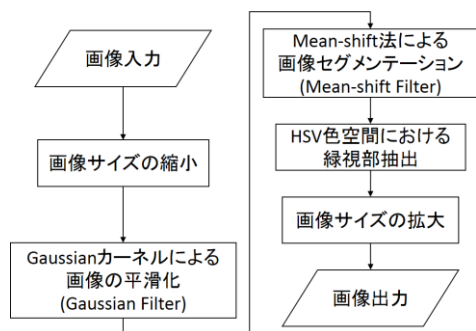


図1 リアルタイム緑視率測定モジュールのフロー

2.1. 処理プロセス

提案するシステムの各処理について説明する。

(1) 画像サイズの縮小・拡大

処理時間を短縮するために、画像サイズを縮小して、緑視部の抽出処理を行う。画像サイズ縮小・拡大には、求める画素の周辺四画素の画素値から直線的に補間するバイリニア補間を用いる。

(2) Gaussian カーネルによる画像の平滑化

ノイズ除去を目的として、Gaussian カーネルによる画像の輝度値の平滑化を行う。この処理により、Web カメラから画像を取得した際に見られる、画像のちらつきといったノイズの影響が緩和される。

(3) Mean-shift 法による画像セグメンテーション

窓の誤抽出の削減や樹冠の隙間を埋めるために、Mean-shift 法による画像セグメンテーションを行う¹³⁾。この処理により、類似した色を持つ画素は、同一の領域とみなされ、色の平均化が行われる。その結果、緑成分の少ない領域と緑成分の多い領域が処理前よりも明確に区別される。

(4) HSV 色空間における緑視部抽出

画像処理の後、HSV 色空間により緑部抽出が行われる。Ding ら¹⁴⁾の調査から、Hue = (40, 180), Saturation = (0.2, 1.0), Value = (0, 1) の範囲で、緑視部が抽出される。

2.2. リアルタイム緑視率測定検証

提案したフローを基に、システムを実装した。実装には、画像処理用に OpenCV (ver.2.4.9) を使用した。

実装したシステムには、重要なパラメータとして、画像サイズの縮小、拡大における縮小率（元画像に対する縮小後の画像サイズの割合）、Gaussian Filter における Gaussian カーネルサイズ、Mean-shift Filter における空間窓の半径と色空間の窓の半径がある。最適なパラメータの組み合わせを調査するため、パラメータスタディを次のように行った。代表画像に対して、適当な値の組み合わせを与え、試験的に探索を行った後、得られた示唆から、探索範囲を絞り、全探索により最適なパラメータの組み合わせを探索した。最適とした目標値は、「正解率 85.4% (Ding らのシステムの正解率¹⁴⁾以上かつ処理時間 0.0667 秒未満 (15fps) で、不正解率が最小値である。」とした。

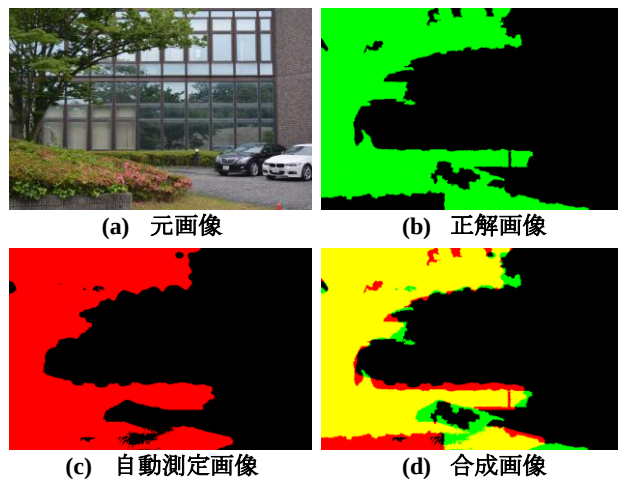


図2 パラメータスタディに使用した画像と結果画像

表1 パラメータスタディにおける設定値、範囲と最適解 (1: 縮小率 [%], 2: Gaussian カーネルサイズ [pixel], 3: 空間の窓の半径 [pixel], 4: 色空間の窓の半径)

	設定値 (試験的探索)	設定値 (全探索)	最適解
1	5~100 (間隔:5)	5~29 (間隔:1)	20
2	1~103 (間隔:6)	1~29 (間隔:2)	5
3	1~61 (間隔:10)	1~30 (間隔:1)	4
4	1~201 (間隔:10)	1~120 (間隔:1)	20

図2は、パラメータスタディにおいて、使用した画像(画像サイズ = (1200×800))と出力画像の例である。図2を用いて、最適解探索の設定条件である正解率、不正解率(Ding らの評価方法⁸⁾)を説明する。まず、元画像(図2(a))を基にマニュアル手法により正解画像(図2(b))を作成した。次に、あるパラメータ値の組み合わせにより生成した自動測定画像(図2(c))と正解画像を合成する(図2(d))。次に、正解画像と自動測定画像のいずれにも抽出された画素を正解画素、正解画像のみに抽出された画素(以下、未抽出画素とする)と自動測定画像のみに抽出された画素(以下、過抽出画素とする)を合わせた不正解画素を算出する。最後に、正解画素と不正解画素を、それぞれ正解画像の緑部画素で除して正解率と不正解率を算出する。豪制御(図2(d))において、黄色の画素が正解画素、緑の画素が未抽出画素、赤の画素が過抽出画素である。

表1は、試験的な探索における設定値と全探索における設定値、最適解を示す。試験的な探索において、縮小率 30%以上、もしくは、空間の窓の半径 31pixel 以上では、処理時間の設定条件を満たす組み合わせはなかった。また、Gaussian カーネルサイズ 31pixel 以上、色空間の窓の半径 121 以上では、正解率と不正解率が著しく悪化した。そのため、表1のように全探索における探索範囲を設定した。全探索の結果、(縮小率, Gaussian カーネルサイズ, 空間の窓の半径, 色空間の窓の半径) = (20, 5, 4, 20) が最適解として得られた。

開発したシステムに最適解を設定して、緑視率の測定を

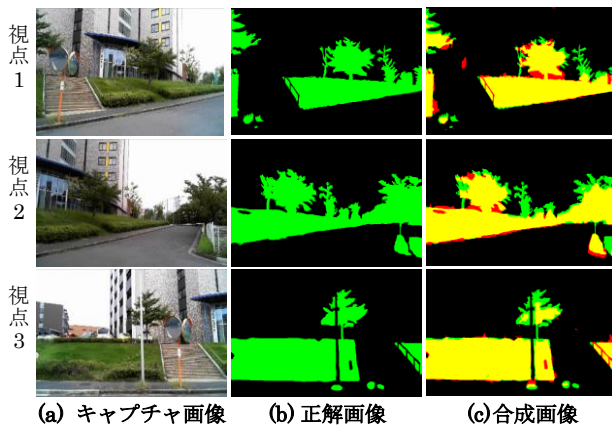


図 3 重要視点場からの景観

表 2 緑視率の測定結果 (平均 8 fps)

	重要視点場からの景観			歩行中の景観		
	測定緑視率 [%]	正解緑視率 [%]	差分 [%]	測定緑視率 [%]	正解緑視率 [%]	差分 [%]
視点 1	21.7	23.6	1.9	39.8	50.2	10.4
視点 2	26.9	30.2	3.3	41.7	43.6	1.9
視点 3	25.0	27.9	2.9	28.2	28.3	0.1

行った。画像サイズの縮小は、画像幅が 240pixel となるように設定した。重要視点場からの景観と歩行中の景観に対して緑視率測定を行った。重要視点場の景観として、大阪大学吹田キャンパス内のテクノアライアンス棟前を、歩行中の景観として同キャンパス内のけやき通りから US1 棟入口までを選定した。測定結果を図 3, 4 と表 2 に示す。正解画像 (図 3, 4 (b)) は、キャプチャ画像 (図 3, 4 (a)) を基に、マニュアル手法により作成した。表 2 より、正解緑視率に対し、過少に測定されたことが分かる。樹木の枝葉のような細い部分の抽出が不完全であることや、樹冠の陰となる部分の輝度が低く、抽出されなかったためだと考えられる。測定結果に対して算出した正解率、不正解率を表 3 に示す。Ding ら⁸⁾ の正解率 (85.6%~93.3%)、不正解率 (11.5%~21.4%) と比較すると、過抽出率は低い結果が得られたものの、正解率がやや低く、不正解率は、やや高い結果となった。

3. 環境設計支援手法としての DR システム

開発した PhotoDAR-2016 は、PhotoDR-2015 にリアルタイム緑視率測定モジュールを組み込み、構造物や植栽設計のシミュレーションと同時に、緑視率の測定が可能なシステムである。PhotoDAR-2016 の概念図を図 5 に示す。

PhotoDAR-2016 を用いて、環境設計の実地検証を行った。その際、既設構造物周辺の緑視率と新設構造物周辺の緑視率を比較した。現状及び検証用の新設構造物の配置図を図 6 に示す。大阪大学吹田キャンパス内のポプラ通り福利会館 2 階食堂を解体撤去し、新設構造物周辺に植栽する想定とした。図 7 は、PhotoDAR-2016 を用いて、環境設計のシミュレーションと緑視部を測定した結果 (白：現況の緑視部, 黄：新しい緑視部) を示す。DR を適用するこ

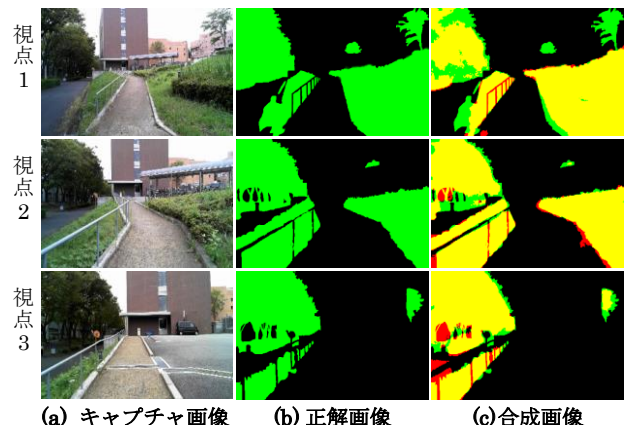


図 4 歩行中の景観

表 3 測定結果に対する正解率、不正解率

	正解率[%]	未抽出率[%]	過抽出率[%]	不正解率[%]
重要視点場からの景観				
視点 1	82.3	17.7	10.9	28.6
視点 2	80.3	19.7	9.0	28.7
視点 3	84.8	15.2	4.3	19.6
歩行中の景観				
視点 1	77.2	22.8	2.0	24.8
視点 2	90.1	9.9	5.4	15.3
視点 3	89.1	10.9	10.6	21.5
平均	84.0	16.0	7.0	23.1

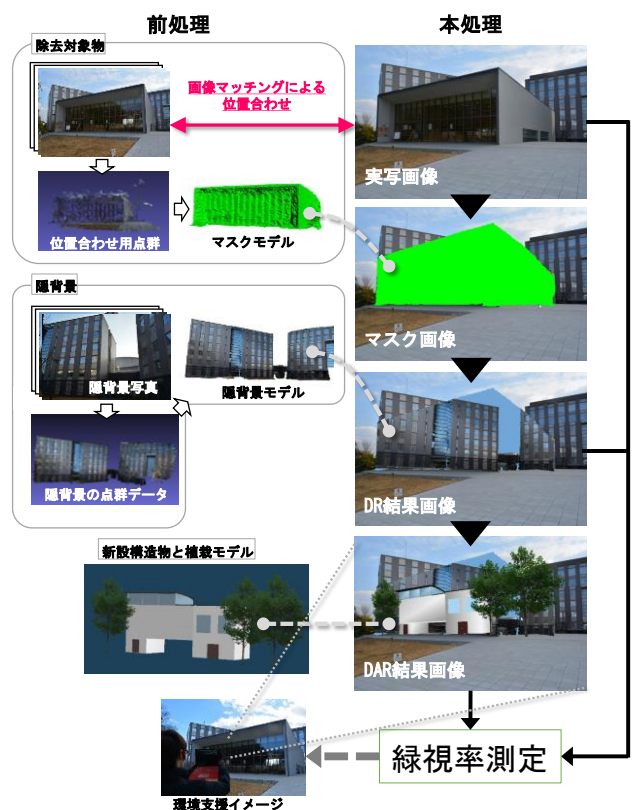


図 5 PhotoDAR-2016 の概念図

とで、既設構造物が解体撤去され、構造物が新設された景観予測が可能である。ただし、隠背景モデルが存在しない空の領域は、曇りを想定して (R,G,B) = (225,225,230)

で塗りつぶした。既設構造物における平均緑視率は、18.5%であったのに対し、新設構造物における平均緑視率は31.3%と約13%の上昇が確認された。

4. まとめ

本研究では、緑視率を測定しながら、構造物や植栽設計を行うDRシステム「PhotoDAR-2016」を開発した。本システムは、リアルタイムでの緑視率計測と構造物や樹木の景観シミュレーションを同時に行うことで、環境設計の支援を行う。本研究により得られた結論は以下の通りである。

- 緑視部抽出時に画像サイズを画像幅 240pixel に縮小することで、緑視率のリアルタイム計測を可能とした。また、開発したシステムを用いて、実地検証を行い、その結果を用いて、正解率、不正解率を計測し、リアルタイムでの緑視率計測が十分に可能であることを確認した。
- PhotoDAR-2016 は、樹木と構造物の景観シミュレーションと同時に、緑視率のリアルタイム計測が可能であることを確認した。

今後の課題として、適切に抽出されなかった樹木の枝葉の部分や樹冠の陰となり輝度値の低い部分の抽出精度向上があげられる。

謝辞

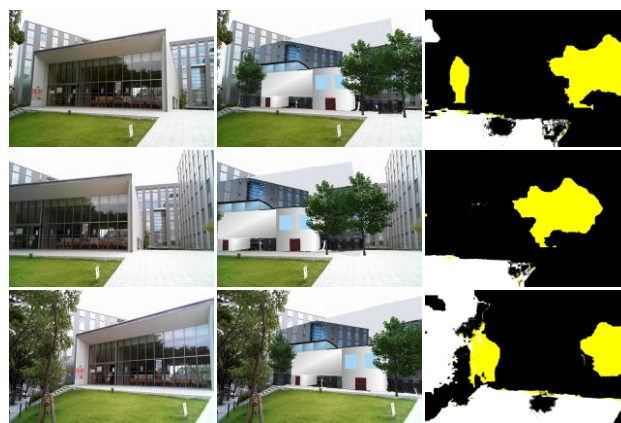
本研究は JSPS 科研費 JP16K00707, JP26-04368 の助成を受けた。

[参考文献]

- 1) Shafer Jr, E. L. and Brush, R.O.: 1977, How to measure preferences for photographs of natural landscapes, *Landscape Planning*, Vol. 4, 237-256.
- 2) 青木陽二:1987, 視野の広がり と 緑量感の関連, *造園雑誌*, Vol. 51, No.1, 1-10.
- 3) 青木陽二: 1986, 都市景観の識別と評価に及ぼす緑の影響, *日本不動産学会誌*, Vol. 2, No.3, 68-74.
- 4) 大阪府: 2013, 緑視率調査ガイドライン, <http://www.pref.osaka.lg.jp/attach/17426/00000000/guideline.pdf> (参照 2016-10-01)
- 5) 西宮市: 2011, 西宮市景観計画 http://www.nishi.or.jp/media/2011/keikankeikaku_nishino-miya2011.pdf (参照 2016-10-01)
- 6) 小宮佑登, 須崎純一: 2015, 航空機計測を用いた市街地における緑視率の推定, *土木学会論文集 D1 (景観・デザイン)*, Vol. 71, No. 1, 1-9.
- 7) Li, X., Zhang, C., Li, W., Richard, R. Meng, Q. and Zhang, W.: 2015, Assessing street-level urban greenery using Google Street View and a modified green view index, *Urban Forestry & Urban Greening*, Vol. 14, Issue 3, 675-685.
- 8) Ding, Y., Fukuda, T., Yabuki, N., Michikawa, T. and Motamedi, A.: 2016, Automatic Measurement System of Visible Greenery Ratio Using Augmented Reality, *Proceedings of the 21th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2016)*, 703-712.
- 9) Gudrun, K., Didier, S. and Dirk, R.: 2001, Augmented reality for exterior construction applications, *Fundamentals of wearable computers and augmented reality*, 379-427.
- 10) Kerlekar, J., Zhou, S., Nakayama, Y., Lu, W., Loh, Z. and Hii, D.:



図 6 新設構造物の配置図



(a) 既設構造物 (b) 新設構造物 (c) 緑視部測定画像

図 7 新設構造物の設計

2010, Model-based localization and drift-free user tracking for outdoor augmented reality, *Proceedings of the 2010 IEEE International conference Multimedia and Expo ICME 2010*, 1178-1183..

- 11) 森尚平, 一刈良介, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: 2011, 隠消現実感の技術的枠組と諸問題～現実世界に実在する物体を視覚的に隠蔽・消去・透視する技術について～, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol.16, No.2, 239-250.
- 12) Inoue, K., Fukuda, T., Yabuki, N., Ali, M. and Michikawa, T.: 2016, Post-Demolition Landscape Assessment Using Photogrammetry-Based Diminished Reality (DR), *Proceedings of the 16th International Construction Application of Virtual Reality (ConVR 2016)* (accepted).
- 13) Cheng, Y.: 1995, Meanshift, mode seeking, and clustering, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 17, Issue 8, 790-799.
- 14) Ding, Y., Fukuda, T., Yabuki, N. and Michikawa, T.: 2015, A Measurement Tool for Visible Greenery Ratio Derived from Gaussian Blur, Hue and Saturation Filtering, *Proceedings of International Conference on Civil and Building Engineering Informatics (ICCBEI 2015)*, 104.

- *1 大阪大学 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 博士前期課程
- *2 大阪大学 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 准教授 博士(工学)
- *3 大阪大学 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 教授 Ph.D.
- *4 大阪大学 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 JSPS 外国人特別研究員