

AIによる協調観測のための カメラパラメータ探索における一考察

向井 智洋¹・八木 雅大¹・高橋 翔²・萩原 亨³

¹学生会員 北海道大学 大学院工学院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

E-mail: {szkitro51, masahiro}@eis.hokudai.ac.jp

²正会員 北海道大学准教授 大学院工学研究院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

E-mail: stakahashi@eng.hokudai.ac.jp

³フェロー 北海道大学教授 大学院工学研究院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

E-mail: hagiwara@eng.hokudai.ac.jp

各種センサによって得られるデータを用いた AI による交通流計測などが種々試行されているが、単一センサでは広範囲の俯瞰が困難であり、複数センサによる協調観測が有効な手段の一つとなる。しかしながら、効果的なセンサの配置や設置角度、数量などを事前に見積もる必要がある。この方法としては、仮想現実 (Virtual Reality: VR) を用いたシミュレーションに基づいて、AI による物体検出の精度を最大としつつ、カメラの台数や配置などを探索する手法の構築が挙げられるが、そのとり得る組み合わせの数によっては、現実的な時間での計算が困難となる課題がある。そこで本稿では、物体検出結果に基づく新たな評価関数を定義し、その下に課題解決を図る。具体的には、本稿で提案する評価関数に基づいて、VR 空間中の物体が AI によって重複を少なく検出される組み合わせを探索する。これによって、全体を捕える線形探索アルゴリズムに比して低演算量な手法を実現する。また実験により、提案手法の有効性及び提案手法により探索されたカメラ配置の頑健性を確認する。

Key Words: search algorithm, cooperative observation, camera deployment, spatial analysis, AI

1. はじめに

各種センサによって得られるデータを用いた、交通流やスポーツなどの空間分析が行われている^{1,2)}。これらの空間分析には AI などによる画像解析に基づく手法が取り入れられている^{3,4)}。また近年、製造業や建設業などの分野において、様々なセンサから得られたデータを基に物理空間をデジタル空間に再現する技術であるデジタルツイン⁵⁾を導入するための検証^{6,7)}がされている。AI による高精度な空間分析やデジタルツインの構築には、空間内の物体を様々なカメラなどのセンサにより、正確に観測する必要がある。広い空間を観測の対象とする場合、単一センサでは全体俯瞰や正確な観測が困難であり、AI にとって必要なデータが得られない場合がある。空間全体を正確に観測するためには、複数センサによる協調観測が有効な手段の一つとなる。しかしながら、AI による分析の効果が最大となる、複数センサの配置や設置角度、数量などを事前に見積もる必要がある。

現在、センサの中でも、CCTV カメラや監視カメラは河川や道路の管理または防犯を主な目的として広く普及

しているが⁸⁾、AI による分析を想定した設置ではないため、AI による空間分析に必要なデータが得られない場合がある。したがって、協調観測において AI の精度が最も高くなる、効果的なセンサ配置を推定する手法が必要とされている。

これまでカメラ配置を最適化する手法として、遺伝的アルゴリズムを用いた最適なカメラ配置の推定手法^{9,10)}や、オクルージョンに伴うリスクを最小化する最適なカメラ配置の推定手法が提案されている¹¹⁾。しかしながら、これらは協調観測に用いる AI の精度が最高となる計算は行われていない。そこで筆者らはこれまで、仮想現実 (VR) を活用したシミュレーションに基づいて、AI による物体検出の精度を最高としつつ、カメラの台数や配置などを探索する手法を提案している¹²⁾。ここでは線形探索法に基づき、カメラの位置や角度などのパラメータの最適な組み合わせを探索している。しかし組み合わせ数が増えると、現実的な時間での探索が困難となる課題がある。

そこで本稿では、物体検出結果に基づく評価関数を定義し、その最大化問題を解くことで、課題解決を図る。

具体的には、まず、多数のカメラ配置をシミュレーション可能な VR 空間を構築する。次に、各カメラパラメータで対象となる空間を撮影する。また、取得された多数の画像に対して物体検出を行う。物体検出の結果から本稿で定義する評価関数を基準とし、VR 空間中の全ての物体が AI によって重複が少なく検出される組み合わせを探索する。これによって、全体を捕える線形探索アルゴリズムに比して低演算量な手法を実現する。

以降、本文の構成について述べる。まず、2 章では、AI による協調観測のためのカメラパラメータの探索手法について説明を行う。次に 3 章では、実験により提案手法の有効性および提案手法により推定されたカメラパラメータの組み合わせの頑健性を確認する。最後に 4 章では、まとめとする。

2. AI による協調観測のためのカメラパラメータ探索

本章では、AI による協調観測のためのカメラパラメータの探索方法について説明する。提案手法ではまず、多数のカメラ配置をシミュレーション可能な VR 空間を構築する。また本稿では、空間を全体的にかつ、正確に俯瞰するカメラパラメータを求めるため、**図-1**に示すように観測領域の全域を任意の小領域に分割し、各小領域内に物体を一つずつ配置する。次にカメラから取得された画像に対し、物体検出を行う。物体検出結果から協調観測において、カメラ台数が最小となり、かつ全ての物体を観測するカメラパラメータの組み合わせを探索する。また提案する探索アルゴリズムでは、本稿で新たに提案する評価関数を基準とし、全てのパラメータの中から評価関数の出力が最も大きいパラメータを逐次選択することで、カメラパラメータの組み合わせを求める。詳細を以下に述べる。

(1) 物体検出

本節では物体検出について述べる。カメラから取得された画像それぞれに対して、深層学習に基づく AI による物体検出を行う。提案手法では深層学習による物体検出手法の一つである YOLOv4¹³⁾を用いて物体検出を行う。具体的には、まず物体検出により、画像中の検出対象となる物体の周囲に、**図-2**に示される緑枠の矩形領域 (Bounding-box)を得る。この Bounding-box の下辺中央の座標を物体の位置とする。**図-2**の赤枠で示される小領域に存在する物体に対して、YOLOv4 で検出された矩形領域から得る座標が、その小領域内となる場合、正しく観測されたとする。このとき、本稿では、観測された物体を obs と表し、観測されていない物体を n-obs と表す。また、複数カメラによる協調観測において、一つ以上のカメラ



図-1 VR上に構築した空間

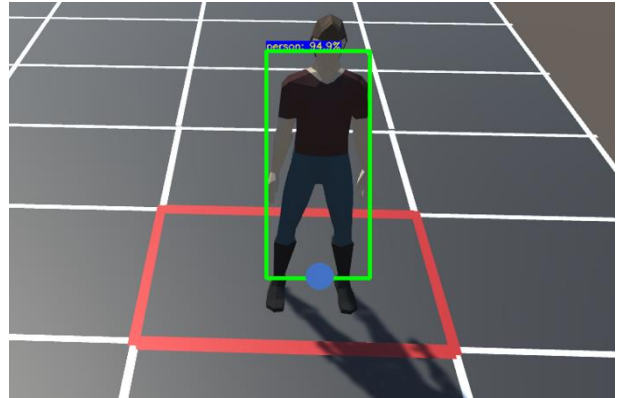


図-2 YOLOv4により検出された物体と、それによって取得された座標(青点)

が観測している物体は OBS、全てのカメラにおいて、観測されていない物体を N-OBS とする。ここで、それぞれの物体の存在情報は既知である。

(2) 探索アルゴリズム

本節では、カメラパラメータの探索アルゴリズムについて説明する。本稿において探索するカメラパラメータの組み合わせとは、VR 空間内の全ての物体が OBS となり、かつカメラ台数が最小となるカメラパラメータの組み合わせである。全ての組み合わせの中から最適解を求める線形探索アルゴリズムと比して、低演算量な探索を可能とするため、本稿では、協調観測において、物体が重複を少なく検出される組み合わせを求める評価関数を導入する。提案アルゴリズムでは、評価関数 M_n を最大とするカメラパラメータを一つずつ逐次的に決定していき、全ての物体が OBS となるまで繰り返すことで、カメラパラメータの組み合わせを求める。組み合わせを求めるための評価関数 M_n および制約式を以下に示す。

$$M_n = \begin{cases} \frac{S_n}{N} & (n = 1) \\ \frac{S_n}{N - \sum_{n=2}^{n-1} S_{n-1}} & (n \geq 2) \end{cases} \quad (1)$$

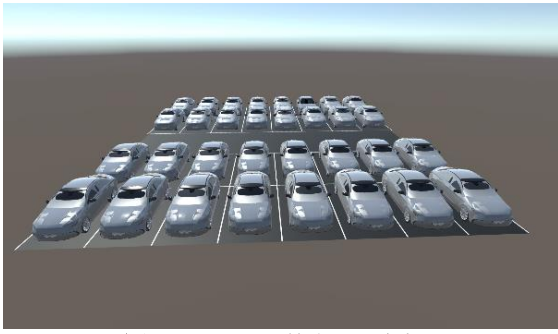


図-3 VR上に構築された駐車場

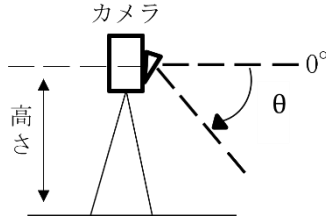


図-5 カメラの鉛直角度

Subject to
$$\sum_{n=1}^n S_n = N, \quad \text{Minimize } n$$

ここで、 N は VR 空間内の物体の総数であり、 n は組み合わせるカメラ台数を表す。また、 S_n とは n 番目に選択されるカメラパラメータにおいて、新たに OBS となった物体数を表す。提案するアルゴリズムでは、 n 番目のカメラパラメータの選択において、式(1)に表される評価関数 M_n が最も大きいものを選ぶ。また、一番目に決定されるカメラパラメータとは全てのカメラパラメータの中から、最も obs となる物体が多いパラメータである。提案手法により、選出されたカメラパラメータの組み合わせを、AI による協調観測のためのカメラパラメータの組み合わせとする。提案手法では、求めるカメラパラメータの組み合わせを逐次決定することにより、線形探索と比して、探索する組み合わせ数を削減することが出来る。これにより、線形探索アルゴリズムと比して低演算量なカメラパラメータ探索が可能となる。

3. 実験

提案手法の有効性の確認および提案手法により選出されたカメラ配置の頑健性を確認するため、それぞれ実験を行った。提案手法の有効性を確認する実験を実験 1 とする。また、実験 1 において提案手法により選出されたカメラパラメータの組み合わせの頑健性を確認する実験を実験 2 とする。

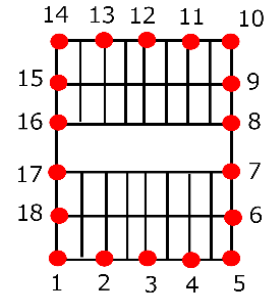


図-4 カメラ配置とカメラ番号

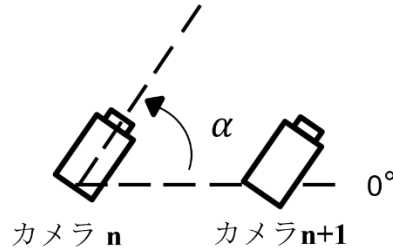


図-6 カメラの水平角度

表-1 カメラの外部パラメータ

| 高さ[m] | 鉛直角度(θ) | 水平角度(α) | |
|-------|------------------|------------------|--------------|
| | | A | B |
| 3 | 15°,30° | 15°,45°,75° | 60°,90°,120° |

表-2 カメラの内部パラメータ

| | |
|---------------------------|-------|
| 焦点距離(mm) | 20.8 |
| センサーサイズ(mm ²) | 36×24 |
| 視野角(θ)[°] | 60 |

表-3 駐車場の形状および車両台数

| | |
|--------------------------|-------|
| 駐車場の大きさ(m ²) | 25×20 |
| 車室の大きさ(m ²) | 5×2.5 |
| 車室数 | 32 |

(1) 実験 1

a) 実験概要

本実験では、Unity technologies 社の Unity を用いて VR 空間上に図-3 に示すような駐車場を再現する。そして、カメラパラメータを探索する実験を行い、探索に要する時間を求める。また提案手法の有効性を確認するために、比較手法として線形探索法に基づく探索を用い、探索時間を比較する。なお、実験に用いた計算機のスペックは CPU が 3.70GHz、Intel Core i5-9600K、メモリが 15GB、OS が Ubuntu20.04 となっている。また使用したプログラミング言語は Python である。次に、実験に用いたカメラおよび観測対象とした駐車場について詳細に述べる。まず、設置したカメラの位置について説明する。カメラは図-4 に示すように、駐車場の隅に 5m おきに計 18 ヶ所に設置し、図-4 のようにそれぞれのカメラに番号を割り当てた。次にカメラパラメータについて説明する。カメラパラメ

表4 各手法による探索時間

| | 提案手法 | 比較手法 |
|------------------------|-----------------------|--------------------|
| カメラパラメータの探索に要する時間(sec) | 8.80×10^{-2} | 2.08×10^4 |

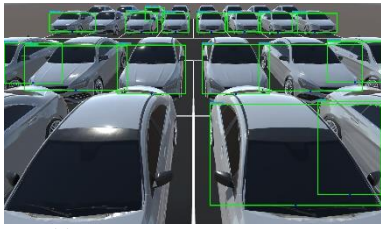
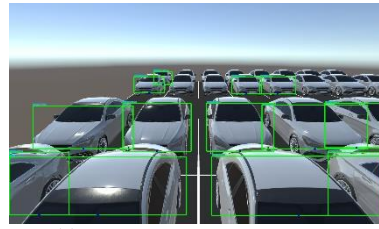
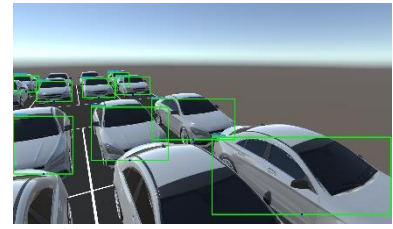
(a) カメラ 3, $\theta = 30^\circ, \alpha = 90^\circ$ (b) カメラ 2, $\theta = 15^\circ, \alpha = 90^\circ$ (c) カメラ 4, $\theta = 15^\circ, \alpha = 60^\circ$ (d) カメラ 16, $\theta = 15^\circ, \alpha = 120^\circ$ (e) カメラ 10, $\theta = 15^\circ, \alpha = 45^\circ$

図-7 提案手法によって選択されたカメラパラメータの組み合わせ, および検出画像の例

ータは内部パラメータと外部パラメータの2種類に分けられる。内部パラメータとはカメラの焦点距離などのカメラ固有のパラメータであり、外部パラメータはカメラの空間位置と角度である。実験ではカメラの内部パラメータは固定値とし、カメラの外部パラメータを変数として用いる。また設置するカメラの鉛直角度を θ 、水平角度を α とし、図-5に示すように鉛直角度 θ は水平線を基準に鉛直下向きを正とする。水平角度 α は、図-6に示すように、カメラ番号の順にシミュレーションする際に、シミュレーション対象のカメラと次のカメラを結ぶ線を基準線として反時計回りを正とする。なお、図-4における、18番目のカメラにおいては、1番目のカメラとの線を基準とする。カメラの外部パラメータを表-1に、カメラの内部パラメータを表-2に示す。ここで、表-1の水平角度 α におけるAとは、駐車場の四隅に設置されたカメラ番号1, 5, 10, 14のカメラを指し、Bとはそれ以外のカメラを指す。また実験に用いた駐車場の詳細を表-3に示す。なお、提案手法で述べられた分割された小領域とは、本実験では車室を指す。

b) 実験結果

表4に、提案手法および、比較手法における探索時間の結果を示す。表4より、本実験の条件下では、提案手法による探索時間は 8.80×10^{-2} 秒であり、1秒に満たない時間で探索が可能であることが確認できる。また比較手法による、探索時間は 2.08×10^4 秒であり、探索に約6時間要することが確認できる。つまり、提案手法

は、比較手法に比して約 2.36×10^5 分の1の時間での探索が可能であり、提案手法の有効性が確認された。次に提案手法により探索されたカメラパラメータの組み合わせを示す。実験1に用いた駐車場において、全ての物体がOBSとなるのに必要な最小のカメラ台数は5台であった。また、探索されたカメラパラメータの組み合わせ数は6通りであった。探索されたカメラパラメータの組み合わせにおける検出画像の例を図-7に示す。提案手法では、最もVR空間内の物体を観測しているカメラパラメータとして、図-7(a)におけるカメラパラメータが選出された。図-7(a)より、駐車場の前列中央および、後列手前の車を検出することが可能であることが確認できる。また図-7(b)-(e)のカメラパラメータにおいて、図-7(a)のカメラでは検出不可能な、最後尾の列の車や前列の左右のみに配置された車を検出できていることが分かり、これらのカメラパラメータの組み合わせによって、全ての車が観測されていることが確認できる。次に、探索されたカメラパラメータの組み合わせ、およびその撮像方向を図-8に示す。ここで、提案手法により探索されたカメラパラメータは6通りであったが、図-8(a)、図-8(b)ではそれぞれカメラ16、カメラ1の鉛直角度のみパラメータが異なったため、掲載を割愛する。図-8より駐車場前方に3台または4台カメラを設置し、2台または1台を後方に設置することで、空間全体を観測することが可能であることを確認できる。次に、比較手法における探索結果を述べる。比較手法では提案手法と同じくカメラ5台において、全ての物体が観測された。このとき、探索された

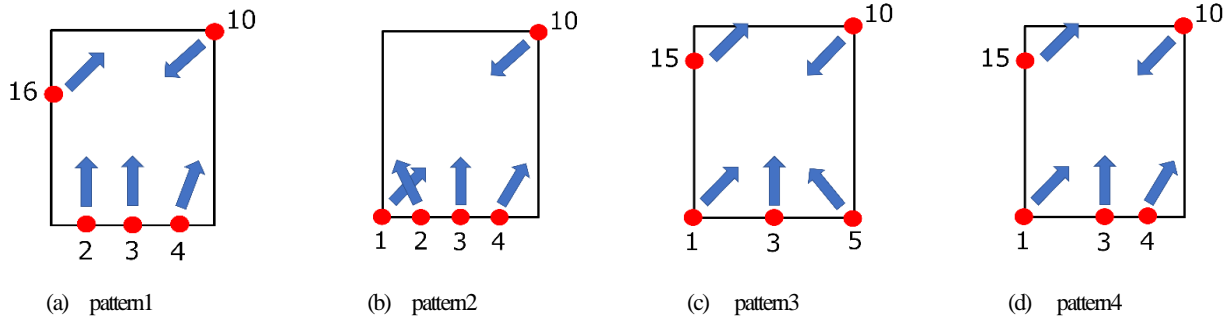


図-8 提案手法によって選択されたカメラの組み合わせと撮像方向

カメラパラメータの組み合わせは 258 通りであった。また提案手法により探索された 6 通りのカメラパラメータの組み合わせは、比較手法の 258 通りのカメラパラメータの組み合わせの中に含まれていることが確認された。

(2) 実験 2

a) 実験概要

本実験では提案手法により得られたカメラ配置の頑健性を確認するため、異なる車の配置および、種類において実験を行う。具体的には、実験 1 と同一の駐車場を VR 空間に構築し、図-9 に示すように、実験 1 とは種類の異なる車を、一つの車室のみに配置する。また実験 1 で求めたカメラ配置を用いて、画像を取得し、物体検出を行う。これを全ての車室において行い、全ての物体が OBS となるか確認する。これを実験 1 で求めた 6 通りのカメラ配置において行う。

b) 実験結果

実験 1 において選出された、全てのカメラ配置において、全ての物体が OBS となった。これにより、選出されたカメラパラメータの組み合わせにおいて、車の種類や配置が異なる場合でも、全観測領域が正確に観測されていることが分かった。したがって、提案手法によって選出されたカメラ配置の頑健性が確認された。

4. まとめ

本稿では、AI による協調観測のためのカメラパラメータの探索手法を提案し、実験によりその有効性を確認した。具体的にはまず、多数のカメラ配置をシミュレーション可能な VR 空間を構築する。次に、各カメラパラメータで対象となる空間を撮影し、取得された多数の画像に対して物体検出を行う。また、物体検出結果に基づいた評価関数を用いた探索によって、協調観測での、物体の検出の重複を少なくしつつ、空間内の全ての物体の観測を可能とした。駐車場を模した空間における実験で



図-9 一つの車室のみに車を配置した例

は、その結果から、比較手法である線形探索法に基づく探索より短い時間での探索が可能であることを確認し、提案手法の有効性が確認された。

今回の実験では駐車場を模した空間をシミュレートした実験を行ったが、駐車場内の車の位置は、変化しないものであった。実際の駐車場などの空間では物体の位置は時間により変化する。今後は物体が移動する場合においても、提案手法により、カメラパラメータの探索が可能となるようにする必要がある。また、異なる空間の形状や物体の種類などを変えた、より複雑な条件下において、実験を行うことで提案手法の有効性を確認する必要がある。

謝辞：本研究の一部は、科研費 19H02254JSPS および、22H01607 の支援を受けたものである。

参考文献

- 1) 山中亮, 神谷大輔, 我部新, 宮国敏明, 菅芳樹 : IoT デバイスを活用した交通流計測技術の基礎的研究, 第 35 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp45-46, 2019.
- 2) 高橋翔, 林原局, 長谷山美紀 : レベルセット法を用いたサッカー映像における選手追跡手法, 電子情報通信学会論文誌, vol. J96-D, no. 3, pp. 695-703, 2013.
- 3) 木下義昭, 濱村秀亮, 中村秀明, : トレイルカメラと AI を用いた簡易交通量調査の無人化, インフラメンテナンス実践研究論文集, 一卷, 一号, pp. 345-355, 2022.
- 4) Tomoki Haruyama, Sho Takahashi, Takahiro Ogawa, Mik i Haseyama : Multimodal Important Scene Detection in Fa

- r-view Soccer Videos Based on Single Deep Neural Architecture, *ITE Transactions on Media Technology and Applications*, vol. 8, no. 2, pp. 89-99, 2020.
- 5) S. Haag, R. Anderl : Digital twin–Proof of concept, *Manufacturing Letters*, vol. 15, pp. 64-66, 2018.
 - 6) H.Guo, M. Chen, K. Mohamed, T. Qu, S. Wang, J. Li : A digital twin-based flexible cellular manufacturing for optimization of air conditioner line, *Journal of Manufacturing Systems*, vol.58, pp. 65-78, 2021.
 - 7) Y. Matsuda, R. Ooka,: Development of the digital-twin for building facilities(part1);Verification of predictive accuracy of ann models for heat source system based on operation data, *Journal of Environmental Engineering*, vol. 85, pp. 267-275, 2020.
 - 8) 落合雄太, 梅田信, 齋藤茂則,: 河川監視カメラを用いた河川水理状況モニタリング手法の検討. *東北地域災害科学研究*, vol 46, pp 185-190, 2010.
 - 9) Y. Komabayashi, T. Mashita, R. Photchara, Y. Uranishi, M. Koike, K. Maruyama : Optimal Arrangement of Surveillance Cameras Using Space Division and a Genetic Algorithm, *Proceedings of the 25th International Conference on Intelligent User Interfaces Companion*, pp. 99-100. 2020.
 - 10) S. Indu, S. Chsudhury, N. R. Mittal, A. Bhattacharyya : Optimal sensor placement for surveillance of large spaces, *2009 Third ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras (ICDSC)*. IEEE, pp. 1-8, 2009
 - 11) 成田良太, 村上和人 : ロボカップのためのリスク最小基準に基づく複数カメラ配置, *情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM)*, 2007.42 (2007-CVIM-159), pp73-80, 2007.
 - 12) T. Mukai, T. Abe, M. Yagi, S. Takahashi, T. Hagiwara : An Estimation Method for Deploying Condition of Sensors in Cooperative Observation of Road Traffic, *2022 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan*. IEEE, pp. 297-298, 2022.
 - 13) A. Bochkovskiy, C. Y. Wang, H. Y. M. Liao : Yolov4: Optimal speed and accuracy of object detection, *arXiv preprint, arXiv:2004.10934*, 2020.

A Note on Camera Parameter Search for AI-Based on Cooperative Observation

Tomohiro MUKAI, Masahiro YAGI, Sho TAKAHASHI and Toru HAGIWARA

Various approaches such as AI-based traffic flow measurement using data obtained from various sensors have been tried, but it is difficult for a single sensor to have a wide bird's-eye view, and cooperative observation by several sensors is one of the effective methods. However, it is necessary to estimate in advance the effective placement, installation angle, and quantity of sensors. A method for estimation of camera placement is to construct a method that searches for the number and placement of cameras to maximize the accuracy of object detection by AI based on virtual reality (VR) simulations, but the number of possible combinations makes it difficult to calculate in a realistic time. Therefore, in this paper, we define an evaluation function based on the results of object detection and solve the problem under this function. Concretely, based on the evaluation function proposed in this paper, we search for combinations of objects in the VR space that are detected by the AI with less overlap. This makes the proposed method less computationally intensive than a linear search algorithm that searches the entire combinations. Experiments are conducted to confirm the effectiveness of the proposed method and the robustness of the camera placement searched by the proposed method.