

## 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

成田 良太<sup>†</sup> 村上 和人<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 愛知県立大学大学院情報科学研究科  
480-1198 愛知県愛知郡長久手町熊張

**あらまし** 本論文では、隠蔽に伴うリスクを最小化する複数カメラの最適配置を決定する一つの方法を提案する。本手法を適用するマルチカメラシステムの例として、ロボカップ小型リーグのグローバルビジョンシステムを取り上げる。まず、カメラ、ロボットの位置からロボットが作る死角を計算する。また、ロボットがフィールド上のどの場所にいるかを過去の試合データを基に確率分布を用いて表す。死角とロボットの存在確率を積分することによってリスクの評価値を計算する。ロボカップ小型リーグで実際に使用されるサイズ、長さ等のパラメータを提案手法に適用し、2台から9台のカメラを用いた各々のケースについて、評価値を最小にするシミュレーション実験を行い、最もリスクの少ない複数カメラの配置を求めることができた。

## Multi-cameras Layout Based on a Minimum Risk Criterion for RoboCup

Ryota NARITA<sup>†</sup> and Kazuhito MURAKAMI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University  
Kumabari, Nagakute-cho, Aichi 480-1198

**Abstract** This paper proposes a method to resolve the camera's layout which minimizes the risk by the occlusion. It takes up global vision system in RoboCup Small Size League as an example of multiple camera system. This paper calculates the area of dead space from cameras made by a robot and describes where the robot is on the field by using probability distribution based on the past RoboCup competitions. It calculates the risk criterion by integrating the area of dead space and probability distribution of robot. Then, this paper gives one of the best solution of multi-cameras layout by the simulations for the cases that the number of cameras is from 2 to 9 for the RoboCup.

### 1. はじめに

#### 1.1 背景

小売店や金融機関内の各所に取り付けられた防犯カメラは、店内全体の様子を記録するマルチカメラシステムの例である。モーションキャプチャーのようにステレオ原理を利用した3次元計測システムもマルチカメラシステムの例である。

また、最近の報告では監視カメラは単に映像データを記録するだけでなく、画像処理技術を利用して、移動物体の検知を行うこともできるようになっている[1]。この他にもITSやスポーツ映像解析の分野でも、マルチカメラシステムは広く利用されている[2]。

現在、マルチカメラシステムに使用するカメラの配置は、人間が経験的に決めている例がほとんどである。したがって、マルチカメラシステムの本来の目的に照らして考えてみると、本当に最適であるかという保証はなく、多くは実際にカメラを設置してシステムを運用した後、カメラの配



(a) 小売店内の防犯カメラ



(b) モーションキャプチャーの例

図1 マルチカメラシステムの例

置が適切か不適切かを判断することになる。そして、もし不適切であればカメラを再配置することになる。

カメラの配置問題を解く研究については、例えば人間にカメラを取り付けて、物探しの支援を行うシステムが報告されている [3]。この中では人にかかる負荷の軽減や、ファッション性という評価基準をもとにカメラの装着位置の検討が行われているものの、カメラを取り付ける最終的な決定は人間が行っている状態であり、客観的な評価をもとにカメラ配置を決定しているとはいえない。

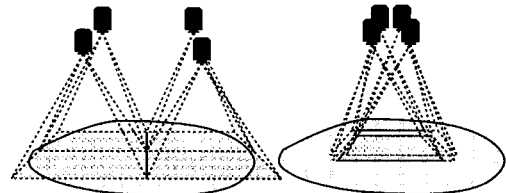
## 1.2 最適なカメラの配置

カメラの配置問題を、カメラの台数とカメラの位置との2つの問題に分けて考える。システムにカメラが何台必要であるかという問題には、ある評価基準を与える必要がある。例えば、Art Gallery Problem を応用して監視カメラの台数の最小値を求める研究が報告されている [4]。これはカメラのコストを評価基準として与え、それを最小にするカメラの台数を求めている。また、1/60 秒周期で処理を実行する分散画像処理システムのネットワーク内で、サーバ、クライアントとのデータの送受信が可能であるカメラの最大台数を求める研究も報告されている [5]。これはネットワークを流れるデータ量を評価基準としてカメラの台数を求めている。

多くのカメラを使うことでシステムにかかるコストやシステムの運用中にネットワークに流れる画像データの量は増加する。しかし、カメラの台数が少なければよいと一概にいうことはできない。図2は、カメラの台数といくつかの評価基準の評価値との関係を模式的に表したものである。カメラの台数が増加すると、見落としが少なくなる。また、1台のカメラが故障したときに、そのカメラが監視していた領域を他のカメラで補うことなどリスクは減少すると考えられる [6] [7]。最適なカメラの台数はこのような各評価基準値のトレードオフ関係を解くことで求めることができると考えられる。

カメラをどの位置に設置するかという位置の最適化問題を解く場合は、何か評価基準を与える必要がある。図3(a)は4台のカメラで、より広い面積を撮影できるように位置を決定した例である。カメラが撮影する領域が、できる限

り重ならないようにすることでカメラの位置が決定される。図3(b)は同じ4台のカメラをカメラの故障によって生じるリスクがより少なくなるように位置を決定した例である。複数台のカメラで同じ場所を撮影することによって、仮に1台のカメラが故障したとしても、他のカメラで故障したカメラが監視していた場所を補うことが可能である。



(a) カメラがカバーする領域を最大にするカメラの配置例  
(b) 故障に対するリスクを最小にするカメラの配置例

図3 様々な評価基準にもとづく配置の例

カメラの位置を、ある評価基準に基づいて求めている報告の例として、電子博物館のための昆虫の形状計測システムがある。この研究では、計測する昆虫の周りにカメラを等間隔に配置するよりも、触覚や足などの細かい場所にカメラの視野が集中するように取り付けるとよいという結果が報告されている [8]。このように、与える評価基準によってそれを満足させる最適なカメラの位置はそれぞれ異なる。

本論文では、マルチカメラシステムの例としてロボカップ小型リーグのグローバルビジョンを取り上げる。カメラ位置決定のためにオクルージョンによるリスク最小という評価基準を与え、最適なカメラの位置を決定する一つの方法を提案する。以下、2. でロボカップ小型リーグのグローバルビジョンについて述べ、3. でリスクの評価値を求める手法とリスクを最小にするカメラ位置を決定する方法を述べる。4.、5. で、提案手法にロボカップ小型リーグの環境で具体的に使用されているパラメータを与えたシミュレーション実験を行い、その結果を報告する。

## 2. ロボカップ小型リーグ

### 2.1 システム構成

ロボカップ小型リーグでは、1チーム最大5台のロボットを用いてサッカーの試合を行う。ロボカップ小型リーグで使用されるシステム構成の例を図4に示す。

図5にロボットの例とボールを示す。高さ15cm、直径18cmの円筒に収まるサイズで自由に設計できるロボットとオレンジ色に着色されたゴルフボールを用いてサッカーの試合を行う。

### 2.2 グローバルビジョン

ロボカップ小型リーグでは、ロボットとボールの位置を取得するための画像処理システムとして、グローバルビジョンシステムを使用する。グローバルビジョンシステム

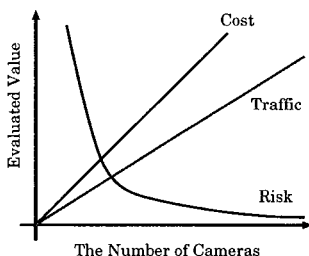


図2 カメラの台数と各評価基準の関係

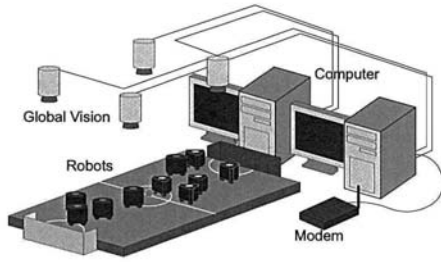


図4 ロボカップ小型リーグのシステム構成

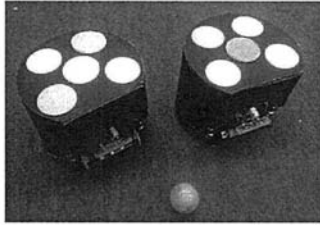
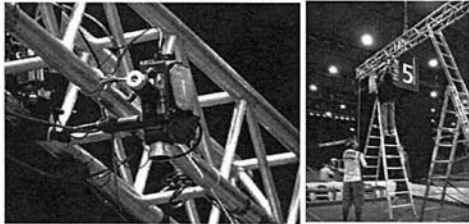


図5 ロボットの概観



(a) トラスに取り付けられたカメラ (b) カメラを取りつけている様子  
図6 グローバルビジョンシステムに使用されるカメラ

に使用されるカメラは、図6に示すように天井などの高い場所に取り付けられる。

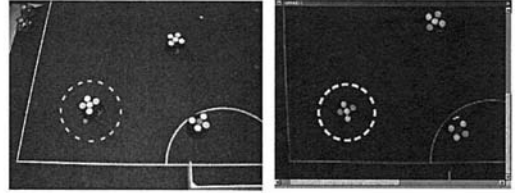
### 2.3 ロボットによるボールの隠蔽

グローバルビジョンシステムでロボットとボールの位置を取得する際、ロボットによるボールの隠蔽が発生する。図7はその一例である。ロボットとボールとが図7(a)に示すような位置関係にあるとき、グローバルビジョンシステムのカメラから入力された画像(図7(b))には破線で囲まれたロボットの7時の辺りにあるボールが映っていない。カメラからの画像には、ロボットのみ映っており、ボールの位置データは一時的に失われる。このような隠蔽が発生するとロボットの行動生成に影響を与えてしまう。

## 3. カメラ位置の決定

### 3.1 ロボットによって作られる死角

ロボットがフィールド上のある場所にいるとき、カメラから死角になる領域は図8のように表すことができる。この領域の面積を  $S$  とする。  $S$  はカメラの座標  $C(x, y, z)$  とロボットの座標  $R(x, y, z)$  から求めることができる。



(a) ロボットがボールに接近した (b) 天井に取り付けたカメラが位置関係 撮影した画像

図7 サッカーロボットによるオクルージョン

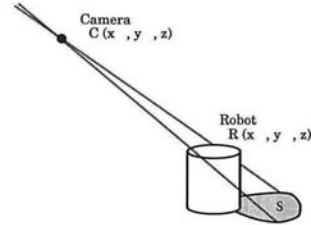


図8 ロボットが作るカメラの死角

ロボットは戦略にもとづいてフィールド上を移動する物体である。フィールド上のどの場所にいるかを確率分布  $P_{(R)}(x, y)$  表す。フィールドを表す平面を  $F$  としてこの確率分布についてロボットがフィールド上で一様に存在し、退場などでロボットがフィールド上から離れる状態はないと考えると、

$$\iint_F P_{(R)}(x, y) = 1 \quad (1)$$

となる。リスクの評価値  $E$  を、面積  $S$  と確率  $P_{(R)}(x, y)$  を用いて

$$E = \iint_F S P_{(R)}(x, y) dx dy \quad (2)$$

と定義する。

### 3.2 死角領域の計算

ロボットによって作られる死角は、カメラの位置に点光源を置いた場合に作られる影に相当する。ロボットの形が複雑になるほどこの影も複雑な形になり、面積の計算は難しくなる。そこで、ロボットの形をルールで定められている最大のサイズ、つまり、ロボットの形を円筒形と仮定して検討を行う。図9はカメラ、ロボット、ボールの3点が一直線上に並び、最もボールが隠蔽されやすい状態をモデル化したものである。隠蔽が発生する領域にボールが含まれるときの線分の長さ  $d$  を求める。  $d$  は隠蔽が発生したときにおけるボール、ロボット間の距離の最大値である。式(2)の  $S$  の代わりに図9中の  $d$  を用いてリスクの評価値  $E$  を

$$E \approx \iint_F d \times P_{(R)}(x, y) dx dy \quad (3)$$

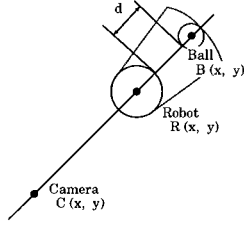


図9 最もボールが隠蔽される位置関係

とする。

カメラ、ロボット、ボールの座標  $C(x_C, y_C, z_C)$ ,  $R(x_R, y_R, z_R)$ ,  $B(x_B, y_B, z_B)$  が図 10 のように同一平面  $u$ - $z$  上に存在するとき、ロボットによってボールがもつとも隠蔽されやすい位置関係となる。このような位置関係のとき、 $x$ - $y$  平面上の点  $(x, y)$  と  $u$  軸上の点  $u$  との間には

$$u = \sqrt{(x - x_C)^2 + (y - y_C)^2} \quad (4)$$

$$x = u \times \cos \left\{ \tan^{-1} \left( \frac{y_B - y_C}{x_B - x_C} \right) \right\} + x_C \quad (5)$$

$$y = u \times \sin \left\{ \tan^{-1} \left( \frac{y_B - y_C}{x_B - x_C} \right) \right\} + y_C \quad (6)$$

が成り立つ。

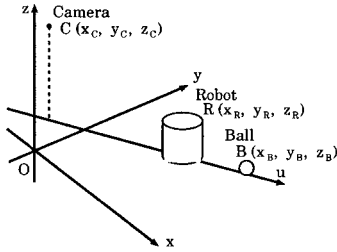


図10  $x$ - $y$ - $z$  空間と  $u$  軸

ボールがロボットによって隠蔽されるとき、 $x$ - $y$ - $z$  空間の位置関係を図 11 に示すような  $u$ - $z$  平面に変換して、円と接線との関係から解くことができる。カメラ座標からロボットに接する直線  $L_1$  を引くと、その方程式は

$$L_1: z = \frac{z_R - z_C}{u_R + r_R} u + z_C \quad (7)$$

となる。この直線と  $u$  軸との交点の座標を  $(u_0, 0)$  とする。この直線の傾きと、 $(u_B, z_B)$  と  $(u_0, 0)$  を結ぶ直線  $L_2$  との傾きには

$$\frac{z_B}{u_0 - u_B} \approx \frac{1}{2} \frac{z_C}{u_0} \quad (8)$$

の関係が成立する。従って、ロボットによってボールが隠蔽されるとき、ロボットからボールまでの距離  $d$  は、それぞれの半径を考慮して

$$d = |u_B - u_R| - r_R - r_B \quad (9)$$

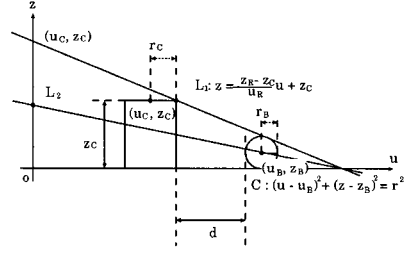


図11 ロボット、ボール間の距離を求めるモデル

と求めることができる。また、式 (9) では  $d < 0$  となる値が算出されることがある。これは図 11 の座標系においてロボットによってボールが完全に隠蔽されることを示している。従って、このとき  $d = 0$  とする。

### 3.3 カメラ位置の決定

カメラの台数を  $N$  台 ( $N \geq 2$ ) にすると、 $i$  番目のカメラ ( $1 \leq i \leq N$ ) についてそれぞれ  $d_{(i)}$  が計算される。最もボールを見失いにくいカメラは、これらの中で最小値をとるカメラである。そこで、 $d = \min_i \{d_{(i)}\}$  とする。式 (3) は

$$E \approx \iint_F \min_i \{d_{(i)}\} \times P_{(R)}(x, y) dx dy \quad (10)$$

となる。本論文では、評価値  $E$  を最小化する各カメラ座標  $C_{(i)}(x, y, z)$  ( $1 \leq i \leq N$ ) をそれぞれ求める。

### 3.4 最小値探索

表 1 に、今回実験を行なったコンピュータの環境を示す。このコンピュータを用いて  $N$  台のカメラ位置  $C_{(i)}(x, y)$  ( $1 \leq i \leq N$ ) を求めた。フィールドの大きさが  $5.5\text{m} \times 4.0\text{m}$  であるから  $-2750 \leq x \leq 2750$ ,  $-2000 \leq y \leq 2000$  の範囲内で全探索を用いて評価値が最小となるカメラ位置を求めた。  $N = 2$  としたときの計算時間が約 8 時間、  $N = 3$  としたときの計算時間が約 24 時間となった。カメラパラメータを求める問題は、解を探索する範囲が広いことから解を得るまでの計算時間が多くなってしまっていることが報告されている。そこで計算時間の短縮のために Fletcher-Reeves の共役勾配法を用いて評価値  $E$  の値がより小さくなる最適解を求める。

Fletcher-Reeves の共役勾配法は以下の手順の繰り返しにより  $f(x)$  が最小となるときの  $x$  を求める。

初期値  $x^0$  を定め、最初の探索方向  $s^0$  は勾配ベクトルを  $g$  とするとき、

$$s^0 = -g^0 = - \left[ \frac{\partial f(x^0)}{\partial x_i} \right] \quad (11)$$

表 1 実験に使用したコンピュータ環境

CPU	Celeron 1.6GHz
Memory	256MB
OS	FreeBSD 5.4

$k$  ステップから  $k+1$  ステップへの  $x^k$ ,  $s_k$  はそれぞれ式 (12), 式 (13) に従って更新される.

$$x^{k+1} = x^k + \lambda_k s^k \quad (12)$$

$$s^{k+1} = -g^{k+1} + \frac{(g^{k+1})^T g^{k+1}}{(g^k)^T g^k} s^k \quad (13)$$

ただし式 (13) は  $(k \neq n+1)$  の条件が成り立つときに使用される.  $k = n+1$  のときは  $s^{k+1} = -g^{k+1}$  として探索方向のベクトル  $s^k$  を更新する. このとき定数  $\lambda_k$  は  $f(x^k + \lambda_k s^k)$  を最小にする値である. 以下, 繰り返しの停止基準を満たすまで式 (12), (13) の計算を繰り返すことで  $x$  の最適解を求めることができる.

#### 4. カメラ配置実験 — 一様配置

##### 4.1 環 境

提案手法にロボカップ小型リーグで実際に使用されているパラメータを代入する. 「Laws of the F180 League 2006」に基づき, フィールドのサイズは試合を行なうコート  $4900 \text{ mm} \times 3400 \text{ mm}$  に加え,  $300 \text{ mm}$  幅のサイドエリアを含め  $5500 \text{ mm} \times 4000 \text{ mm}$  とする. ロボットの高さはルールで規定された最大値  $150 \text{ mm}$ , ボールの高さは  $21.5 \text{ mm}$  とする. カメラを取り付けるトラスの高さが  $4 \text{ m}$  とされていることから全てのカメラの高さは  $4000 \text{ mm}$  とした.

式 (10) より任意のカメラ位置におけるフィールド上でオクルージョンが発生する評価を行う. コンピュータ上で評価するにあたり, 各数値は離散データとして扱うため, 本論文ではさらに式 (10) を離散的に考え, 平面  $F$  を  $111 \times 81$  に分割する. 平面  $F$  にロボットが一様に存在すると仮定すると, 確率分布  $P_{(R)}(x, y)$  は

$$P_{(R)}(x, y) = \frac{1}{111 \times 81} \quad (14)$$

となる. 評価値  $E$  は近似解として

$$E \simeq \sum_F \min_i \{d_{(i)}\} \times P_{(R)}(x, y) \quad (15)$$

のようになる.

##### 4.2 実験結果

以下, 本実験で行った具体的なアルゴリズムを示す.

- Step 1. カメラの初期位置  $C_{(i)}^*(x, y)$  は疑似乱数を用いて  $-2750 \leq x \leq 2750$ ,  $-2000 \leq y \leq 2000$  の範囲内でランダムに与える.
- Step 2. 平面  $F$  上, ロボットの座標  $R(x, y)$  をラスタスキャン方式で変化させて評価値  $E$  を求めるための積分を計算する. このときロボットの座標を変化させる間隔は  $\Delta x = \Delta y = 50 \text{ mm}$  とする.
- Step 3.  $(1 \leq i \leq N)$  の全ての  $i$  について  $d_{(i)}$  を求める.  $\min_i \{d_{(i)}\}$  を計算し, 式 (15) より評価値  $E$  を計算する.

Step 4. Fletcher-Reeves の共役勾配法の計算に従って, 評価値  $E$  が減少する方向へ各カメラの座標  $C_{(i)}(x, y)$  を変化させる.

Step 5.  $k$  ステップ目の  $E$  である  $E_k$  と  $k-1$  ステップ目の  $E_{k-1}$  を比較し,  $E_{k-1} > E_k$  が成り立つ限り Step 2. ~ Step 4. までの処理を繰り返す.

上記のアルゴリズムにしたがって, カメラの台数  $N$  を 2 から 9 まで変えてシミュレーションを行なった.  $N=9$  として実験を行った結果を示す. ランダム生成したカメラの座標の初期値  $C_{(i)}^*(x, y)$ , 提案手法を適用させて得られた各カメラの最適座標  $C_{(i)}(x, y)$ , を表 2 にまとめた. また, 図 12(a) はカメラの位置を  $5500 \text{ mm} \times 4000 \text{ mm}$  のフィールドモデルとともに  $x$ - $y$  平面にプロットしたものであり, 図 12(b) には実験の結果求めたカメラの座標をもとにカメラ配置を 3 次元的に表した様子である. また, 図 13 はフィールド上での隠蔽発生分布を表したものである.

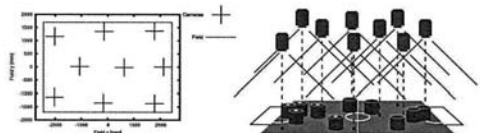
##### 4.3 考 察 1

今回の実験で得られた結果の精度を検証する. 最適なカメラの位置座標  $C_{(i)}(x, y)$  は式 (10) の評価値を最小にする  $C_{(i)}(x, y)$  を計算することによって得られるが, 式の展開によって真の解を求めることは非常に困難である. そこで, 今回のシミュレーション実験によって近似解として求めた. 式 (15) から評価値  $E$  を計算するためにロボットの位置  $R(x, y)$  を移動させる間隔を細かくするほど, シミュレーションで得られる解は真の解に近づく. しかし, 解を求めるための計算時間が増加する.

カメラの台数  $N=3$  のとき, 式 (15) の積分を計算するためのパラメータを  $\Delta x = \Delta y = 10 \text{ mm}$  として, 評価値  $E$  が最小になるようなカメラの位置  $C_{(i)}(x, y)$  を計算した. シミュレーションに用いた初期値,  $C_{(i)}^*(x, y)$  と計算結果

表 2 9 台のカメラを用いた実験結果

カメラ番号	$C_{(i)}^*(x, y)$	$C_{(i)}(x, y)$
0	( 1666, 301)	( 1783, 1370)
1	(-1170, -1967)	(-2026, -1133)
2	(-2089, -164)	(-1070, 18)
3	( -294, 131)	( 627, -19)
4	( 1410, -1554)	( 1788, -1372)
5	( -410, -552)	( -163, -1355)
6	(-1355, 1970)	( -136, 1351)
7	(-1457, 532)	(-2021, 1162)
8	( 2150, -219)	( 2134, 0)



(a) 2-D 表示 (b) 3-D 表示

図 12 9 台のカメラの位置

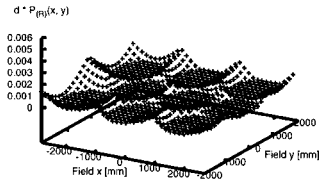


図 13 オクルージョンの発生分布 (カメラ 9 台)

表 3 カメラの初期値と  
 $\Delta x = \Delta y = 10\text{mm}$  とした結果

カメラ番号	$C_{(i)}^*(x, y)$	$C_{(i)}(x, y)$
0	(-2251, 1057)	(-1108, 894)
1	(1158, -677)	(1370, -5)
2	(-1228, -820)	(-1108, -904)

表 4  $\Delta x, \Delta y$  を変化させた結果  
(a)  $\Delta x = \Delta y = 50\text{mm}$

カメラ番号	$C_{(i)}(x, y)$	真の解との誤差 [mm]
0	(-1128, 875)	28
1	(1350, -25)	28
2	(-1128, -924)	28

(b)  $\Delta x = \Delta y = 100\text{mm}$

カメラ番号	$C_{(i)}(x, y)$	真の解との誤差 [mm]
0	(-1245, 1047)	205
1	(1556, 17)	187
2	(-1183, -1070)	182

$C_{(i)}(x, y)$  を表 3 に示す。この結果を得るまでの計算時間を `time` コマンドを用いてプロセスタイム中のユーザタイムを計算した結果、2456 秒 (約 40 分) となった。今回は表 3 に記述した解  $C_{(i)}(x, y)$  を真の解  $\hat{C}_{(i)}(x, y)$  と見なして考察を行う。

今回の実験では、計算時間の短縮も考慮して  $\Delta x = \Delta y = 50\text{mm}$  とした。さらに、より計算時間の短縮を考えた場合の  $\Delta x = \Delta y = 100\text{mm}$  としたときの 2 つのケースを考える。表 3 と同じ初期値  $C_{(i)}^*(x, y)$  を用いて 2 つのケースについて、求めたカメラの座標  $C_{(i)}^*(x, y)$  と真の解との誤差を  $\hat{C}_{(i)}$  と  $C_{(i)}$  とのユークリッド距離として表 4 にまとめた。

また、 $\Delta x = \Delta y = 50\text{mm}$  としたときに計算結果を得るまでの時間が 94 秒 (約 2 分) であり、 $\Delta x = \Delta y = 100\text{mm}$  としたときは 18 秒であった。ロボカップ小型リーグにおいて、カメラの設置は試合会場について機材を開封すればすぐに開始できる作業であるため、真の解を得るまでの 40 分という計算時間は極めて長いと考えられる。また 40 分と

いうのは 3 台のカメラを用いた場合であるため、それ以上の台数のカメラを使って設置前に最適な位置を求めるには、より計算時間がかかるため現実的ではないと考えられる。

また、 $\Delta x = \Delta y = 50\text{mm}$  としたときの解と真の解との誤差は約 3cm 程度である。これは解を求めてから実際に手作業で取り付けることを考慮すると、3cm は手作業による誤差の中に許容されると考えられる。しかし、 $\Delta x = \Delta y = 100\text{mm}$  としたときは真の解と 20cm 程度誤差があり、これは手作業による誤差と比較して大きいものと考えられる。

以上のことから、今回のシミュレーション実験で用いた積分間隔  $\Delta x = \Delta y = 50\text{mm}$  は解として十分な精度が得られていたと考えられる。

#### 4.4 考察 2

図 14 に偶数台 ( $N = 2, 4, 6, 8$ ) のカメラの最適位置を求めた実験結果を示す。

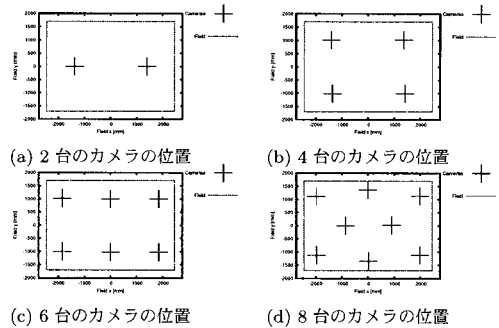


図 14 シミュレーションによる偶数台の最適カメラ位置

カメラが 2, 4, 6 台であれば、それぞれフィールドを 2, 4, 6 個の四角形に分割し、それぞれの中心にカメラを設置するという結果が得られた。このように、偶数台のカメラの位置決定はフィールドを四角形に分割してそれぞれの中心にカメラを置くという人間が容易に想像できる結果と同じものが得られている。しかし、同じ偶数台でもカメラが 8 台の場合は 2, 4, 6 台の結果とは違って、フィールドを四角形に等分割したものとは異なる結果になった。

カメラの台数が奇数、さらにその値が素数であるほど人間がカメラの位置を決定するには困難な問題となる。図 15 に奇数台のカメラの最適位置を求めた実験結果を示す。

カメラの台数が  $N = 3, 5, 7$  のように奇数台のとき、図 14 の (a), (b), (c) の結果のような配置に加え、フィールドの中心にカメラを 1 台追加する配置例が挙げられる。これは人間が想像することが容易な例である。図 16 に、人間が提案するのに容易な奇数台のカメラの位置を示す。図 15 の結果と図 16 の例とで評価値を求めて表 5 にまとめた。今回提案手法を用いて得られた結果は、奇数台のカメラ位置を決定する問題に対して従来人間が経験的に決定していた例よりも有効であると考えられる。

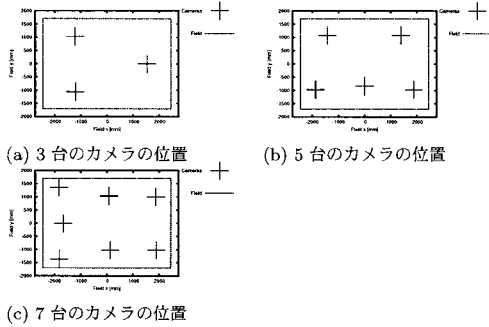


図 15 シミュレーションによる奇数台の最適カメラ位置

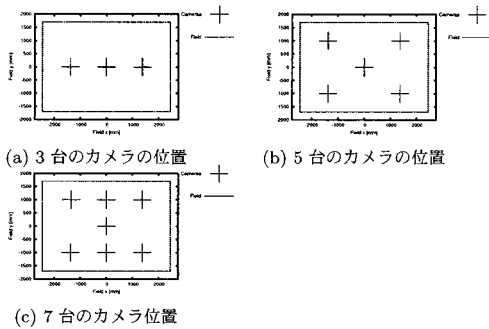


図 16 偶数台のカメラ位置に手動で1台加えたカメラ位置

表 5 評価値の比較

カメラの台数	シミュレーションにより 求めたカメラ配置の 評価値 [mm]	手動により 求めたカメラ配置の 評価値 [mm]
3	13.008	16.143
5	6.013	6.786
7	3.286	5.214

## 5. カメラ配置実験 — 戦略的配置

### 5.1 実験結果

4. ではロボットがフィールドに均等に存在するという仮定で実験を行ったが、実際のロボカップ小型リーグの試合では、ロボットが集まる場所とそうでない場所があると考えられる。図 17 は筆者らのチームが出場した過去の試合のデータから求めたロボットの存在確率分布である。この分布は 5 つの試合のログデータを解析して求めた。ログデータにはロボットとボールの位置、速度、審判から送られてくる信号、時刻などのデータが記録されている。その中からロボットの位置情報を存在確率分布の作成に使用した。分布が点対称になっているのは、ロボカップ小型リーグの試合では、原則として前半と後半で攻めるゴールの向きが変わるためである。

ロボットの存在確率分布  $P_R(x, y)$  にこの分布を適用させて、その他の環境は 4. の実験と同様にして、戦略に基づいたカメラ位置を求めるシミュレーション実験を行った。

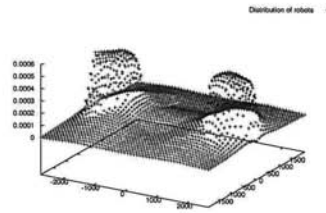


図 17 過去の試合データから求めたロボットの存在確率分布

実験はカメラの台数  $N$  を 2 から 9 まで変えて行った。

$N = 9$  として実験した結果を示す。ランダム生成したカメラ初期座標  $C_{(i)}^*(x, y)$  と提案手法を適用させて得られた各カメラの最適座標  $C_{(i)}(x, y)$  を表 6 にまとめた。また、図 18(a) はカメラの位置を 5500mm×4000mm のフィールドモデルとともに  $x-y$  平面にプロットしたものであり、図 18(b) は実験の結果求めたカメラ座標をもとにカメラ配置を 3 次元的に表した様子である。

また、2 台～8 台のカメラを用いた実験結果を図 19 に示す。

### 5.2 考察

表 7 にカメラの台数  $N$  を 2 から 9 まで変えて求めたリスクの評価値  $E$  をまとめた。

この結果を横軸をカメラの台数  $N$ 、縦軸をリスクの評価値  $E$  とする座標系にプロットし、最小自乗法を用いて  $y = a * \exp(-bx)$  で曲線近似を行った。表 7(a) の結果は  $y = 38.20 * \exp(-0.36x)$  で、表 7(b) の結果は  $y = 16.01 * \exp(-0.36x)$  でそれぞれ近似することができた。図 20 にそれら結果を示す。

表 6 9 台のカメラを用いた実験結果

カメラ番号	$C_{(i)}^*(x, y)$	$C_{(i)}(x, y)$
1	(-1955, -948)	(-1877, 27)
2	( 310, 700)	( 2044, 15)
3	(-2148, 693)	(-1784, 1258)
4	( 679, -1879)	( 1496, -1216)
5	(-243, -862)	( 707, -32)
6	( 1851, 1969)	( 1393, 1215)
7	(-411, -1058)	(-421, -833)
8	(-1679, -1634)	(-1734, -1196)
9	(-1618, 521)	(-471, 782)

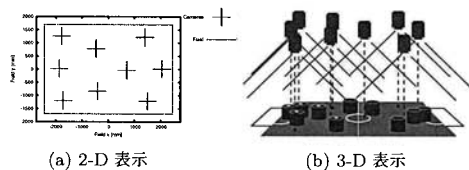


図 18 9 台のカメラの配置例

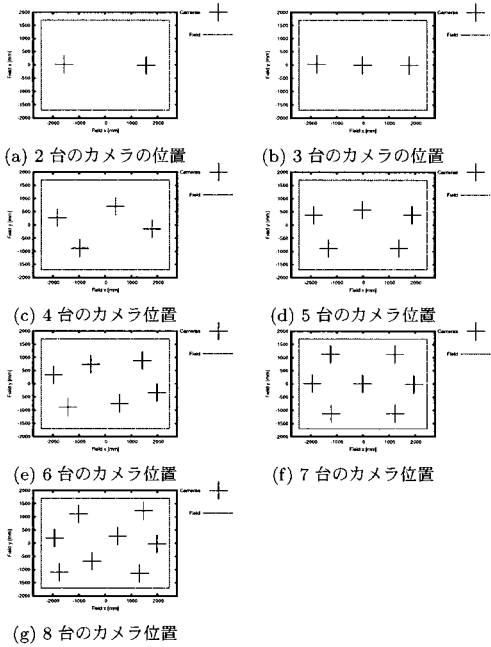
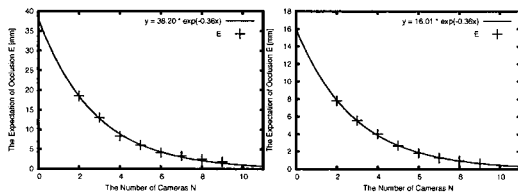


図 19 戦略的配置の実験結果 ( $N = 2, 3, \dots, 8$ )

表 7 リスクの評価値  $E$  ( $N = 2, 3, \dots, 9$ )

(a) 一樣配置		(b) 戦略的配置	
$N$	$E$ [mm]	$N$	$E$ [mm]
2	18.497	2	7.809
3	13.008	3	5.558
4	8.362	4	4.026
5	6.013	5	2.668
6	4.095	6	1.813
7	3.286	7	1.263
8	2.408	8	0.951
9	1.795	9	0.636



(a) 一樣配置 (b) 戦略的配置

図 20 カメラの台数とリスクの関係

## 6. おわりに

本論文では隠蔽に伴うリスクを最小化する複数カメラの最適配置を決定する一つの方法を提案した。今回、マルチカメラシステムの一例としてロボカップ小型リーグのグローバルビジョンシステムを取り上げた。ロボカップ小型リーグで実際に使用されるパラメータを提案手法に適用し、

リスク評価値を最小にするシミュレーション実験を行った。シミュレーション実験では、ロボットの存在確率分布を一様分布に従うと仮定したカメラ位置(一樣配置)と、非一様分布に従うとしたカメラ位置(戦略的配置)を求めた。また、カメラの台数と隠蔽によるリスクの評価値との関係を求めた。

今回はカメラのパラメータを、位置  $(x, y)$  の2変数としたが、今後はカメラの向き、画角などのパラメータも加えてシミュレーションを行う予定である。また、今回行ったシミュレーション結果をもとに実際にカメラを取り付け、シミュレーションの妥当性を実践的に評価する予定である。

## 文 献

- [1] 藤橋邦好, 渡辺崇: "人の動作により生じる放置物体の効率的な監視", 動的画像処理実利用化ワークショップ2007(DIA2007) 講演論文集, pp.72-77 (2007)
- [2] 富山仁博, 宮川勲, 岩館祐一: "多視点マルチモーション映像生成システムの試作", 動的画像処理実利用化ワークショップ2007(DIA2007) 講演論文集, pp.264-268 (2007)
- [3] 河野恭之, 才脇直樹, 三宅祐子, 河村竜幸, 木戸出正継: "物探し支援ウェアラブルシステムのためのカメラ装着位置の検討", 情報処理学会第118回ヒューマンインターフェース研究報告, pp.31-38 (2006)
- [4] 三栗寛之, 向直人, 渡邊豊英: "視認性の包含関係に基づく監視配置決定法", 日本データベース学会 Letters Vol.5, No.2, pp.57-60 (2006)
- [5] 加藤恭佑, 日比野晋也, 村上和人, 成瀬正: "ロボカップのためのマルチカメラレイアウトについての一考察", 第10回画像センシングシンポジウム (SSIT'04) 講演論文集, pp.445-460 (2004)
- [6] Ryota Narita, Kazuhito Murakami, Tadashi Naruse: "A Better Solution of Multi-camera's Layout for RoboCup Small Size League", Proceeding of 13th Japan-Korea Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2007), pp.351-356 (2007)
- [7] 成田良太, 村上和人, 成瀬正: "ロボカップ小型リーグのための隠蔽を最小化する複数カメラの配置法について", 動的画像処理実利用化ワークショップ2007(DIA2007) 講演論文集, pp.325-330 (2007)
- [8] 陳蘇, 飯山将晃, 角所考, 美濃博彦: "形状記述の要求分解能に応じたカメラ配置の決定", 第50回システム制御情報学会研究発表講演会, pp.603-604 (2006)