Vol.2010-DPS-143 No.16
Vol.2010-MBL-54 No.16
2010/5/20

無線LANの指向性アンテナを利用した被写体方向推定の検討

石川翔太[†1]　荒川豊[†2]
田頭茂明[†2]　福田晃[†2]

本研究では，被写体と撮影機器にそれぞれ装着した１対の無線デバイスだけで被写体追尾が可能な被写体方向推定を提案する．提案は，画像処理による判別が難しい運動会など同じ色の服装をした人が多数存在し，互いに重なりあっているような環境においても利用が可能である．本提案では被写体に装着した Wi-Fi デバイスから発信された信号を，撮影機器に装着した小型の指向性アンテナを用いて受信し，信号強度の変化を観測することにより方向推定を行う手法に関して述べる．

Direction Estimation Method for a Photographic Subject by Using Directivity Wireless LAN Antenna

Shota Ishikawa,[†1] Yutaka Arakawa,[†2]
Shigeaki Tagashira[†2] and Akira Fukuda [†2]

In this paper, we propose a direction estimation method for a photographic subject by using directivity wireless LAN antenna. Our purpose is to find the person among a crowded environment such as athletic festival, where many people are identically dressed and overlapping each other. In our system, a compact directivity antenna attached to a camera receives Wi-Fi signals that originate from the device equipped on the subject, and estimates the subject direction by observing changes in the signal strength.

†1 九州大学大学院システム情報科学府
Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University
†2 九州大学大学院システム情報科学研究院
Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

1. はじめに

近年の撮影機器では，撮影素子の高画素化だけでなく，様々な状況において適切な撮影を支援するシステムの発展が著しい．支援システムの１つとしてあるのが，動体追尾であり，撮影中に画面の特定の対象を指定すると，被写体が動いてもピントを合わせ続けることが可能になる．しかし，そもそも被写体がファインダー（見える範囲）から出てしまった場合には，追尾することはできない．また，動体追尾は撮影中の画像の色情報の差分により対象動体を認識している[1] ため，運動会など同じ色の服装をした大人数の中から特定の被写体を狙って撮影する場合，うまく追尾できないこともある．さらに，このような画像処理に基づく手法は，追尾している被写体が，一時的に別の被写体の陰に隠れてしまった場合には追尾できなくなるという問題がある．その結果，前述の運動会などの環境においては，現在の撮影支援機能では，被写体を見失うことが多く，満足な撮影ができないという問題がある．

そこで，本研究では，上記のような環境においても利用可能な目的の被写体の方向を推定する手法を提案する．今回は，被写体の正確な位置ではなく，大まかな方向を推定することを目的としており，推定の精度よりも，設置の容易さや推定の簡易さに重点を置いている．これらの前提を含めて，我々の研究を今後，被写体方向推定手法，と呼び，これまでの精度改善を目的とした位置推定手法と区別する．

これまで同様の環境を狙った被写体方向推定手法は考えられていないが，要素技術として利用可能な従来技術がないか検討した．まず，GPS（Global Positionig System）は，受信端末が小型であり，インフラが既に衛星として整備されているという利点がある．しかしながら，被写体の方向を推定するためには，被写体が装着している装置の位置を，何らかの通信手段で撮影者側に伝える必要がある．また，体育館などの屋内では利用できなくなるという欠点がある．次に，提案同様に電波強度を用いた位置推定手法がさまざま提案されている．特に，小型化，低価格化が進んだ無線 LAN を用いた手法が多く提案されており，代表的な手法として，セル ID 方式，RSSI（Received Signal Strength Indicator）[2)–5)] 方式，TDoA（Time Difference of Arrival）[6)] 方式などがあげられる．これらの手法は，精度が高い反面，いずれも位置推定の際に複数のアクセスポイントからの受信信号を用いるため，撮影機会がある度に多数の無線 LAN インフラを設備する必要がある．我々の目標は，精度よりも簡易性であることから，インフラを必要とするこれらの手法をそのまま適用することはできない．最後に，アンテナ技術によって電波の到来方向を推定する手法が提案されている[7)8)]．アレイアンテナを用いることにより，インフラを用いることなく，１対１間で

© 2010 Information Processing Society of Japan

Vol.2010-DPS-143 No.16
Vol.2010-MBL-54 No.16
2010/5/20

の推定が可能であるという利点があるが，アレーアンテナの性能は，アレーアンテナの大きさやアンテナの素子数に依存しているため，物理的制約が大きく，撮影機器に実装するのは現実的ではない．また，そのコストも無線 LAN などと比較してきわめて高価である．

これらの従来研究を踏まえ，本研究では，無線 LAN と小型の指向性アンテナを用いることにより，無線 LAN デバイスの小型で安価という利点と，アンテナ技術による 1 対 1 間での推定によるインフラ不要という利点を兼ね備えた，被写体方向推定手法を提案する．提案手法では，被写体が装着した Wi-Fi デバイスから発信された電波信号を，指向性アンテナを装着した撮影機器を水平方向に動かしながら受信し，この角度による受信信号強度の変化を観測することにより方向推定を行う．本手法を用いることで，撮影者が目的の被写体を見失ったとしても，GUI や音声によるナビゲートによって被写体の方向が通知されるため，確実な目的被写体の撮影が期待される．本論文では，被写体方向をナビゲートするシステムの基礎となる電波到来方向推定を行う上で用いる信号強度変化の分析手法として，RSSI の角度実数上における観測期間の中間点での接線の傾きによる判別法，AIC（Akaike's Information Criterion）による判別法という 2 つの手法を提案し，検証した．

実験の結果，被写体が存在する角度から離れた角度での被写体方向推定は高い正解率が得られたが，被写体が存在する角度方向では高い正解率は得られなかった．また，各手法において観測データの変動具合により高正解率の場合と低正解率の場合があることが確認できた．よって今後の課題としては，この不得意な部分での正解率を上昇させるために，閾値のパラメータ変更や手法の改善が必要であるという結論を得た．

本論文の構成は次の通りである．第 2 節では本提案が想定する環境及び簡単なアプリケーションモデルについて述べる．第 3 節では既存の電波到来方向推定手法について紹介し，想定環境でのその手法の問題点を述べる．第 4 節では提案手法について述べ，第 5 節で実際に実験行い，提案手法に関して考察をする．最後に第 6 節ではまとめと今後の課題を示す．

2. 想 定 環 境

今回の提案手法は撮影システムに導入することを想定しているものである．よって，前提としてカメラにも搭載可能サイズのデバイスのみで構成する必要がある．カメラ・ビデオでの撮影機会の中でも，特に，運動会での使用に注目する．この場所では，同じような（色の）服装をした人が多数で存在し，高密度で存在しているため，互いに重なり合い，人の陰に隠れることが頻繁に発生する．また，撮影者と被写体の高さは同じであり，高い場所から特定の人物を狙って撮影することは難しい．さらに，遮蔽物がない広い環境であり，マルチパスの影響は少ないと考えられる．このような環境下では，既存の色情報を用いた画像処理による自動追尾はうまく働かず，撮影者がその中から特定の人物を狙って撮影するのは難しい．そして，大部分のグランドや体育館には，無線 LAN のアクセスポイントなどの通信インフラが設備されていないため，基地局やアクセスポイントなどの通信インフラが不要な撮影支援システムが望まれる．そこで本提案によりインフラレスで撮影を支援し，被写体を確実に撮影できるようなシステムを構築する．本論文で示す方向推定手法を導入することにより，このアプリケーションの実装が可能となり，撮影支援システムとして活用されることが期待される．

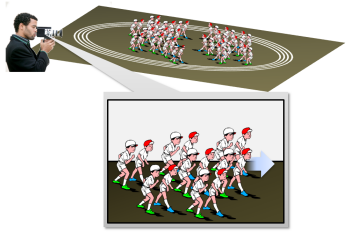


図 1 想定環境及びアプリケーション

3. 従来の電波到来方向推定手法とその問題点

本節では，従来の電波到来方向推定手法および，それらを想定環境において用いた場合の課題について述べる．電波が到来した方向を推定する手法として，アレーアンテナを用いた提案が多くされている．アレーアンテナとは複数のアンテナ素子を配列し，各素子の振幅および位相をそれぞれ独立して制御することにより指向性をもたせたアンテナである．単純な方法では，アレーアンテナのメインビームを走査し，フーリエ変換と同じ原理で電波の到来方向を推定するビームフォーマ（beamformer）法がある．さらに高精度な到来方向推定が可能な MUSIC（MUltiple Signal Classification）法[7)8)] や MODE（Method Of Direction Estimation）法などアルゴリズムによる改良手法が存在する．これらの到来方向推定法の発展に伴い，環境に応じて任意の方向に電波を発信することができるアダプティブアレーアンテナが使われ，アンテナの各素子での受信信号を A/D 変換しデジタル信号処理し，任意の方向にビームを形成する DBF（Digital Beam Forming）アレーアンテナや，アンテナ素子間の電磁界相互結合を利用した ESPAR（Electronically Steerable Parasitic Array Radiator）アンテナなどが提案されている．MUSIC 法による電波到来方向推定で

© 2010 Information Processing Society of Japan

Vol.2010-DPS-143 No.16
Vol.2010-MBL-54 No.16
2010/5/20

は，まずアレーアンテナが受信した信号より得られた相関行列の固有値を求める．相関行列の固有値は，到来波数により信号固有値と雑音固有値に分離することができ，雑音固有値に対応したベクトルを導出する．次に雑音固有ベクトルから角度スペクトラムを求め，それらの並列平均をとることで MUSIC スペクトルが得られる．この角度に対する MUSIC スペクトルのピークを検出することで到来方向推定を行う．

しかし，アレーアンテナの角度による分解能はアンテナ自体の大きさや，アンテナの素子数に依存しているため，物理的制約が大きく，撮影システムに組み込むのは難しい．また，事前に電波暗室のような環境にてアレー方向ベクトルの正確な測定や，全く同じ形状・性質をもつペアのサブアレイを作成し，それらのサブアレイの特性が変化しないようなアンテナの相互による結合が必要である．

4. 提 案 手 法

提案手法では，アレーアンテナのような複数のアンテナ素子をもつ物理的制約が大きいアンテナを用いるのではなく，指向性アンテナを装着した撮影機器の検知器と被写体に装着した Wi-Fi デバイスによる 1 対 1 間だけで被写体方向推定を行う．指向性アンテナは小型化，低価格化が進んでおり，量販店で入手することができる．具体的には，被写体が装着した Wi-Fi デバイスが発信する無線の信号強度の角度による変化を観測することにより被写体の方向を推定する．提案手法では，1 対 1 間だけで方向推定を行うためアクセスポイントをその都度設備する必要もなく，どんな場所でもシームレスに運用でき，システムの管理が容易だという利点がある．

4.1 提案手法の概要

まず，前提として撮影機器には小型の指向性アンテナを装着し，被写体には図 2 に示すような小型軽量の Wi-Fi デバイスを装着するとする．この Wi-Fi デバイスは，省電力化のため撮影機器側からの検索開始信号を受信次第，電波を発信し始めるものとする．提案では，撮影者が撮影機器を動かすことにより，被写体が装着している Wi-Fi デバイスから受信した信号強度の変化を観測し，観測データの補正（4.2 参照）を行い，被写体方向推定に対応した 3 通りのモデル領域の判別（4.3 参照）を行い，方向を推定する．また，撮影者が撮影機器を右（左）方向に動かしたかを判断するために，撮影機器には加速度センサを実装する．

4.2 各判別法へ適用する前の処理

十分な時間に一定速度で左から右に動かし，観測した信号強度の理想モデルは，図 3 が示すようになだらかな凸の曲線を描くと考えられる．

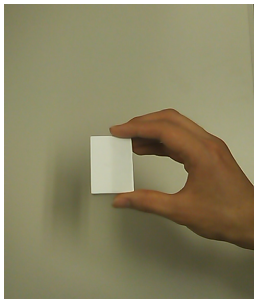


図 2 小型 Wi-Fi デバイスの写真

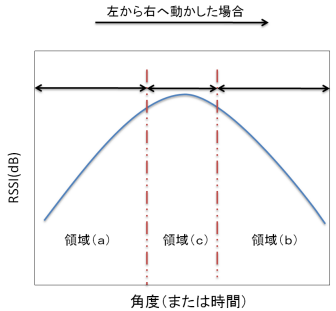


図 3 観測される RSSI 値の理想モデル曲線

この中でも，図 3 中に示すような特徴的な 3 つの領域を考える．図 3 の領域（a）のような場合では，受信した信号は単調増加しており，増加方向に被写体が存在すると推定できる．一方，図 3 の領域（b）のような場合では，受信した信号は単調減少しており，減少方向とは逆に被写体が存在すると推定できる．また，図 3 の領域（c）のような場合では，ピークの地点に被写体がいると推定できる．このような 3 つのモデルを撮影者がビデオを動かした短時間での観測データに適用し，最も類似しているモデルに従って被写体の方向を推定する．

まず提案手法では，観測するデータが図 3 のように連続した値をとり，滑らかな曲線を描けばいいが，実際の観測データは連続する値をとらないことがありギザギザとした波形になるため，データを取り扱いしやいようにこれを補正する必要がある．RSSI 値は時間的相関があることが知られており，ごく短時間での急激な値の変化は雑音と見なすことができる．

よって，各時間における受信した RSSI 値を s ： $(y_1, y_2, ..., y_n)$ とすると，$\Delta y_n = y_n - y_{n-1} > D_y (D_y$：急変化抑制フィルタ閾値) の場合には，各 y_n に対して次式による値の補正を行う．

$$y_n = \frac{(y_{n-i} + ...y_{n-1})}{i} \tag{1}$$

（1）式における i は値補正に用いる y_n 以前の項数とする．また観測開始時から i 個までの観測データは，値補正を行うことができないため以下の工程には用いないとする．

また，受信した信号は距離によって RSSI 値のとる範囲が異なるため、以下のような正規化を行い，RSSI 値データの変化幅を距離によらず統一する必要がある．RSSI 値の相加平均を $\bar{y}$ とすると，RSSI 値の分散 σ^2 は次式で求める．

© 2010 Information Processing Society of Japan

Vol.2010-DPS-143 No.16
Vol.2010-MBL-54 No.16
2010/5/20

$$\sigma^2 = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}(y_j - \bar{y})^2 \tag{2}$$

この分散の正の平方根を標準偏差 σ とする．標準偏差 σ を用いて各 y_n 対して次のような正規化（各変量を平均が 0，分散が 1 になるような変換）を行う．

$$y_n \longmapsto \frac{y_n - \bar{y}}{\sigma} \tag{3}$$

ここで，すべての観測データを 0 から 1 以内に存在させるための補正を行う．正規化された s において，最小値が値 ”0” をとるように次式を適用する．

$$y_n = y_n - min\,(s) \tag{4}$$

さらに，最小値が ”0” をとるように補正された s において，最大値が値 ” 1” をとるように次式を適用する．

$$y_n = \frac{y_n}{max\,(s)} \tag{5}$$

各判別法に適用する前に以上の観測データ補正を行うことにより，すべての観測値を距離によらず統一した基準で手法に適用できる．

4.3 領域判別法

補正した観測データを用いて，被写体方向推定に対応した 3 通りのモデル領域を判別する様々な方法が考えることができるが，ここでは以下の 2 つの判別方法，観測期間の中間点での接線の傾きによる判別法，赤池情報量基準（AIC）による判別法について述べる．

4.3.1 観測期間の中間点での接線の傾きによる判別法

観測データは雑音などの影響もあり常にぶれているため，ある地点での増加（減少）方向と被写体の方向の対応がとれない場合が発生する．このぶれを抑制するために，最小自乗法を用いて 2 次多項式により観測データを表現する．次に，図 4 のような，ある短い観測期間の中間時間点 t（角度 θ_t）における接線の傾き m を導く．

図 5 のように被写体と推定システムの直線上から，水平方向に左右同じような観測波形を得ることができるとすると，被写体が存在する領域（c）は，推定システムから左右に角度 θ_e 内にいるという定義を行う．ここで，角度 θ_e は被写体の存在領域幅に依存するため，撮影可能水平幅 w ，対象までの距離 d を用いて次式により領域を判別するための角度を求める．

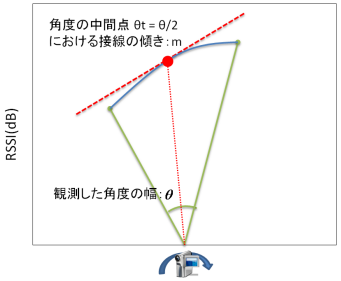


図 4 観測角度幅の中間点における 2 次多項式の接線の傾き：m

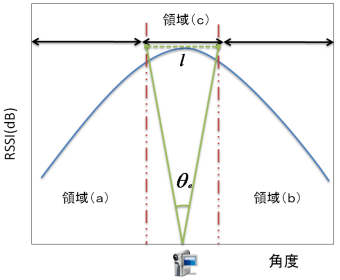


図 5 撮影機器の画角による閾値角度決定

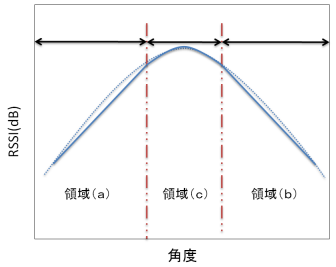


図 6 AIC による判別法

$$\frac{\theta_e}{2} = \tan^{-1}\left(\frac{w}{2d}\right) \tag{6}$$

この角度 θ_e は，画角と呼ばれ撮影している光景の範囲を角度で表したものである．撮影の際には，ズームイン・アウトにより焦点距離 f が変化するため，画角もそれに伴い変化する．あらかじめ与えられた 2 次多項式モデルから得られる接線方程式に画角 θ_e を代入することで，傾き m がとる範囲を定め，観測データから導出した 2 次多項式の観測角度中間点での接線の傾きと比較することで，図 5 のどの領域に属しているかを判断し，方向推定結果として返す．

4.3.2 赤池情報量基準（AIC）による判別法

モデルの適合度を表す統計量である AIC（Akaike’s Information Criterion : 赤池情報量基準）を用いる．AIC を用いる際には，次の公式を用いる．

$$AIC = -2\ln L + 2k \tag{7}$$

© 2010 Information Processing Society of Japan

Vol.2010-DPS-143 No.16
Vol.2010-MBL-54 No.16
2010/5/20

上式中の L はモデルの最大尤度、k は自由パラメータの数とする．第 1 項は，一般にモデルの次元を大きくするほど値が小さくなり，測定データとモデルの適合度が高くなる．しかし，次元を大きくすれば第 2 項の値が大きくなる．よって，AIC は両者を考慮した最適なモデルを選ぶための基準ともいえる．重回帰モデルの場合には，標準誤差を $\hat{\sigma}$ とすると，

$$\ln L = -\frac{n}{2} \times [1 + \ln(2\pi\hat{\sigma}^2)] \tag{8}$$

であるため，次の式に簡略化できる．

$$AIC = n \times [1 + \ln(2\pi\hat{\sigma}^2)] + 2k \tag{9}$$

この式がモデルを選択する上での基準となり，AIC が最小となるモデルが最適なモデルと考えられる．

ここでは，図 6 のように領域（a）を正の傾きをもつ 1 次式，(b）を負の傾きをもつ 1 次式，凸部を含む領域（c）を 2 次多項式のモデルとしてそれぞれ定義する．定義したモデルと正規化により補正した観測データの AIC を求め，最小となるモデルに対応する領域を方向推定結果として返す．

5. 実　　験

本節では，第 4 節で述べた提案手法を実際に観測したデータに適用し，評価する．被写体方向推定の正解率を調べるために，受信信号強度を測定し，各提案手法により方向推定を行った．

5.1 実 験 環 境

今回の実験では観測者（撮影者）が動くことにより，相対的に電波発信者（被写体）が動いているものとする．通信には，IEEE802.11g（周波数帯は 2.452GHz に固定）を使用し発信者側に指向性アンテナを用いる．用いた機器は以下の通りである．

観測者側

- ノート PC : Panasonic Let's Note CF-R4，Ubuntu 9.10
- 無線 LAN デバイス : IO-DATA 無線 LAN PC カード WN-WAG/CBH（IEEE 802.11a/b/g 対応）

発信者側

- 無線 LAN ルーター : Buffalo 無線 LAN ブロードバンドルーター　Airstation High-power　WHR-HP-GN（IEEE 802.11n/g/b 対応）
- 指向性アンテナ : Buffalo カード型アンテナ （小型八木アンテナ）（IEEE 802.11b/g 対応），水平方向指向角 ±30°，垂直方向指向角 ±30°

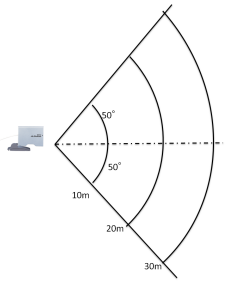


図 7　実験環境図

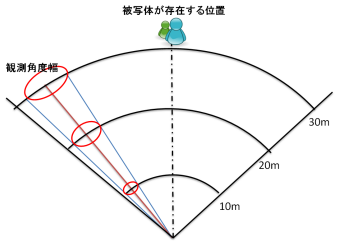


図 8　適用する観測データの範囲

アクセスポイントがビーコンを送信する間隔は 0.1 秒である．円弧の中心にアンテナを固定し，半径 10,20,30m 地点毎に観測者側が水平方向に円弧上を −50° から 50° まで 3 通り（ゆっくり，普段の歩く速さ，小走り）の速さで動き、各 5 セットずつ電波強度の推移を観測する．また，周辺環境による誤差を最小限にするために，他の Wi-Fi が存在しない，見晴らしのよい屋外で実験を行うものとし，観測者は常に円の中心方向（アンテナ）を向いているとする．

5.2 実 験 結 果

今回実験より得られたデータを接線による判別法および AIC による判別法に適用した．各手法に対して，図 8 のように観測データ範囲，及び範囲を判別する際に用いるデータの角度幅をそれぞれ変化させた．図中の角速度（高，中，低）はそれぞれ（小走り，普段の歩く速さ，ゆっくり）の速さで行った実験に対応するものとする．

5.2.1 接線および AIC による判別結果

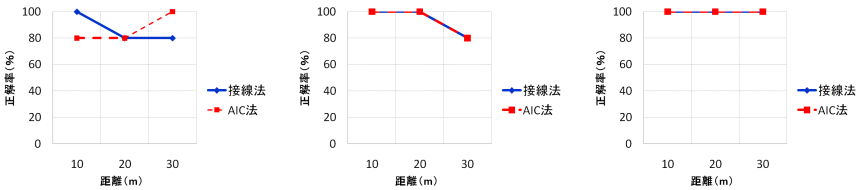
観測データを適用して，接線による手法と AIC による手法の比較を行う．ここでは，画角 $\theta_e = 11.3°$（焦点距離 $f = 35mm$ 換算で $f = 180mm$ 相当，撮影機器から 30m 先で水平幅約 6m の撮影が可能）に固定とする．なお方向推定に適用した観測データ範囲は，撮影者側からみて被写体が存在する位置より左に 30° ずれている範囲と，被写体が存在している範囲である．また，観測する際に用いた角度の幅は 20° とする．結果を，図 9 および図 10 に示す．

5.2.2 接線による判別結果

さらに詳細な実験を接線による手法により行った．ここでは，画角 $\theta_e = 11.3°$（焦点距

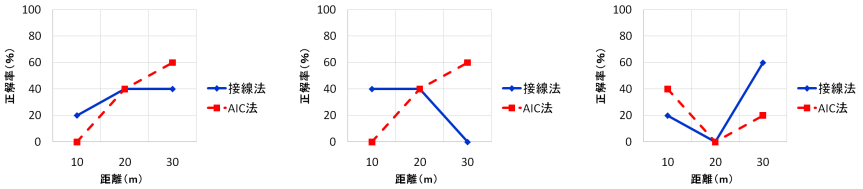
© 2010 Information Processing Society of Japan

Vol.2010-DPS-143 No.16
Vol.2010-MBL-54 No.16
2010/5/20



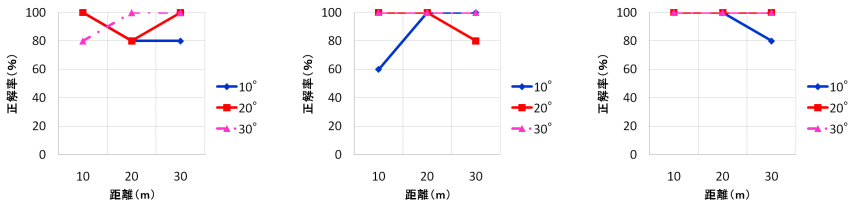
(a) 角速度：高　(b) 角速度：中　(c) 角速度：低

図 9 被写体から左に 30° 付近を観測



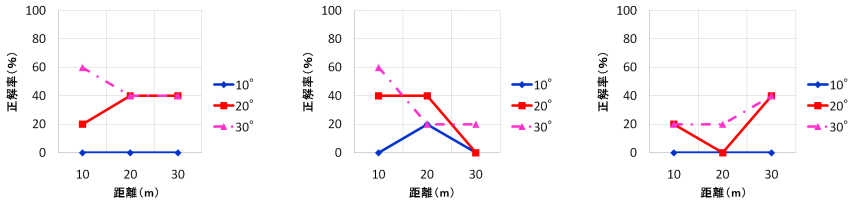
(a) 角速度：高　(b) 角速度：中　(c) 角速度：低

図 10 被写体付近を観測



(a) 角速度：高　(b) 角速度：中　(c) 角速度：低

図 11 接線による判別：被写体から左に 30° 付近を観測



(a) 角速度：高　(b) 角速度：中　(c) 角速度：低

図 12 接線による判別：被写体付近を観測

離 $f = 35mm$ 換算で $f = 180mm$ 相当，撮影機器から 30m 先で水平幅約 6m の撮影が可能）に固定とし，距離及び観測角度と観測する際に用いた角度の幅を変化させた．なお方向推定に適用した観測データ範囲は，撮影者側からみて被写体が存在する位置より左に 30° ずれている範囲と，被写体が存在している範囲である．結果を，図 11 および図 12 に示す．

5.3 考　　察

今回の実験の結果から，接線による手法と AIC による手法では，わずかに接線による手法の正解率が高かったが，おおよその方向推定の結果はほぼ同じ正解率であった．撮影者側からみて被写体が存在する位置より左に 30° ずれている範囲では，ほぼ 100% 近く方向推定は成功したが，被写体が存在する角度方向における推定精度は接線による手法，AIC による手法のいずれも低い．被写体角度方向での接線による手法の総合正解率はそれぞれ，観測角度幅 10° の時に 2%，20° の時に 27%，30° の時に 36% となっており，観測する角度の幅が大きくになるにつれて正解率は上昇している．

図 10 より，接線による手法と AIC による手法を比較すると，被写体角度方向での推定精度は一方の手法が高ければ，もう一方は低くなっていることがわかる．判定に用いた観測データを見てみると，観測データがほぼ一定の値をとる際には，AIC を用いた手法では各モデル間で，モデルと観測データとの残差平方和の差がほとんどなく，パラメータの数が大きく AIC に影響を及ぼし，自由パラメータ数が少ない 1 次式を最適なモデルとして判定したため，間違った方向を推定したと考えられる．よって，観測データがほぼ一定の値をとる

© 2010 Information Processing Society of Japan

Vol.2010-DPS-143 No.16
Vol.2010-MBL-54 No.16
2010/5/20

際には，接線による手法が有効であるといえる．また逆に，観測データが一定値をとらず，頻繁な増減がある際には接線による手法は正解率が低く，AIC を用いた手法が有効だといえる．つまり，観測データの変動具合により手法に得意な部分と不得意な部分があることが確認できた．

しかし，総合的にみると，想定しているアプリケーション下では３通りの場合の出力（右，左，現在の角度のままで正しい）を想定しているため，ランダムに推定したとしても正解する確率は各約 33% であり，これ以下の正解率だと撮影ナビゲートシステムとしての働きをなさないと考えることができる．つまり，本提案のままでは実際に撮影ナビゲートシステムに適用したとしても，確実に正しい方向推定結果を出力することは難しい．よって，上で述べたそれぞれの弱点を補うような，接線による手法と AIC による手法のハイブリッド手法や，RSSI の急激な変化を防ぐ閾値パラメータを変化させるなど，提案に改善が必要である．

6. おわりに

本研究では，撮影時におけるユーザーの負担を減らす目的で被写体の方向をナビゲートする方法として，容易に撮影機器に導入することができ，被写体に装着した Wi-Fi と指向性アンテナを撮影機器間の１対１でのインフラレスな被写体方向推定を提案した．

指向性アンテナを用いて作為的に角度における受信信号強度の差を作り出し，その変化をいくつかの判別法することで方向推定を行った．提案では，アプリケーションとして想定している３つの出力結果に対応するように，角度を変化させた場合の受信信号強度の理想観測波形モデルを３つの領域に分けた．この３つの領域を判断する方法として，観測時間（角度）の中間点による接線の傾きによる方法，AIC による方法を提案した．

各手法の実験の結果，被写体が存在しない角度付近での方向推定精度は非常に高かったが，被写体方向では高精度を得られなかった．また，観測する角度の幅が大きいほど、方向推定の精度は高くなり，観測するデータ量に推定精度は依存することが確認できた．さらに，今回実験を行ったそれぞれの手法には，判別する際の特徴があることも確認できた．しかし，本提案のままでは被写体方向推定精度が低く，正解率向上のために提案の改善が必要であるという結論を得た．

今後の課題としては，閾値などのパラメータの調整及び，接線による手法と AIC による手法のハイブリッド法など提案手法の改善が必要である．さらに，無線電波が混在する場所や人口密度が高い場所など，実際に想定する環境に近い場所での実証も必要であると考えている．

参 考 文 献

1) 太田 健吾, 西尾 信彦，認識アルゴリズムを動的に適用する人物追尾機構，マルチメディア, 分散, 協調とモバイル（DICOMO2008）シンポジウム論文集, pp.1924–1934, 2008.
2) Bahl, P. and Padmanabhan, V.N.，“RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System，” IEEE Infocom 2000，pp.775–784，2000.
3) Kitasuka，T.，Nakanishi，T.， and Fukuda，A.，“Wireless LAN based Indoor Positioning System WiPS and Its Simulation，” *Proc. 2003 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal (PACRIM'03)*, pp. 272–275, 2003.
4) 暦本純一, 塩野崎敦, 末吉隆彦, 味八木崇，PlaceEngine : 実世界集合知に基づく WiFi 位置情報基盤，インターネットコンファレンス 2006，pp.95–104，2006.
5) 伊藤誠悟, 河口信夫，locky.jp : 無線 LAN を用いた位置情報・測位ポータル，情報処理学会研究報告　モバイルコンピューティングとユビキタス通信，No. 2005-MBL-34(4), pp. 25–31, 2005.
6) 荻野　敦，恒原克彦，渡辺晃司，藤嶋堅三郎，山崎良太，鈴木秀哉，加藤　猛，無線 LAN 統合アクセスシステム―位置検出方式の検討，マルチメディア分散協調とモバイルシンポジウム（DICOMO2003），pp.569–572，2003.
7) R.O.Schmidt，“Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation，” IEEE Trans，Vol.AP-34，No.3，pp.276–280，1986.
8) 大鐘武雄，小川恭孝，アダプティブアレーと移動通信〔IV・完〕：到来方向推定，電子情報通信学会誌 vol.82，No.3，pp.264–271，1999.

© 2010 Information Processing Society of Japan