

建築分野におけるローコストモーションセンサの利活用に関する研究

その3 居住者の位置と人数の認識精度検証

○遠田 敦^{*1}

林田和人^{*2}

渡辺仁史^{*3}

キーワード：行動モニタリング，モーションセンサ，KINECT，人数観測，三次元骨格座標

1. 研究背景

建築分野におけるセンサー利用については、すでにさまざまな領域で取り組みが行われている¹⁾が、筆者らは汎用性が高く安価なセンサーを使う方法について着眼し、検討を行っている²⁾。筆者らが認識している課題のひとつとして、ある居室内に在室している人数を機械的に把握する方法を、観測対象者に何も装着させることなく、プライバシーを保ちながら、しかも安価な方法で実現するというものがある。筆者らがこれまでに取り組んできた方法³⁾は、観測される対象者に対して何らかの器具を装着させる必要があるため、条件に適さない。また、録画された動画を画像解析することで人数を取得する方法があるが、録画像ということもありプライバシーを侵害するおそれがある。床に圧力センサを設置する方法も考えられるが、設備の設置が大がかりとなり、コストの面でも現実的ではない。

そこで筆者らは、家庭用ゲーム機のコントローラとして発売されたモーションセンサー（Microsoft KINECT^{注1)}）に着目した（図1）。このセンサーがもつ機能の中でも特筆すべきものとしては、赤外線レーザーを利用した深度センサーをもち、その計測値から画面内に存在する人物の骨格座標を取得することができるという点である。また、価格は15,000円程度と安価である。筆者らは既報⁴⁾において、このセンサーを用いて観測される人物の姿勢やセンサーからの距離に応じた計測精度の検証、あるいは、観測された骨格データによる人物の姿勢推定などについて取り組んできたが、先に挙げた課題に対してもこのセンサーが有効ではないかと考えられる。このセンサーは、最大で6人までの骨格識別を行うことができ、人数を把握するという点では小規模な会議室や住宅で利用するには十分な性能であると考えられる。

なお、赤外線レーザーから得られる深度データは動画として表現することも可能であるが、人物の顔の凹凸を他者と判別が可能な程度の精度で捉えることができるほど精度は高くなく、仮に動画として処理されたとしても、プライバシーを侵害するおそれは低いと考えられる。

2. 研究目的

本報では低価格なモーションセンサーを利用し、小規模な居住空間内の人数をどのくらい精度よく計測することができるか検証を行う。

3. 研究方法

3.1 モーションセンサーの特徴

センサーの主な機能としては、赤外線レーザーを用いた奥行き方向の深度データの計測、深度データに基づく人体の骨格座標推定、マルチマイクアレイによる周辺音声の音源方向推定と複数言語の音声認識、RGB画像を撮影できるカメラを有している点である。なお、マイクロソフト社が提供する「KINECT for Windows SDK」^{注2)}を用いて開発された計測プログラムを使えば、観測される人物の表情を推定する事も可能である。

種々のデータはこのセンサー単体で観測できるものではなく、PC上で動作するソフトウェアを利用することではじめて取得することができる。これはセンサー自体が高度な処理機能を持たないため、PCがこれを処理する必要があるからである。したがって、PC側は相応の処理能力を備えている必要がある。本報では特に、深度データと、これから推定されて得られる骨格データのみを用いることとし、同時に観測される骨格データの数により観測人数とすることとした。

3.2 データの計測原理

深度データの計測原理は、まずセンサーが赤外線レーザーを広範囲に照射し、その輝点模様を赤外線カメラが捉え、その輝点の状態から距離を推定するという方法が採用されている。深度の観測範囲は、通常の利用では800～4500[mm]の範囲とされているが、利用するSDKによってはより近距離もしくは遠距離の範囲も観測が可能とされる^{注3)}。従って、直射光が差し



図1 モーションセンサー 図2 計測プログラム

込む室内や屋外などでは、有効なデータは取得できない。深度データの解像度は、640 × 480 ピクセルなど4種類から選択できるが、面としてデータを取得するフレームレートに影響が及ぶ。

骨格座標は、計測される深度データを骨格推定エンジンに随時適用することで骨格と関節の状態を推定し、これに深度データをあわせて関節の三次元座標が算出される。推定される骨格の関節は、頭部や首、両肩など全20箇所である。現段階では人物の表裏を区別することはできないため、人物の背中側から観測した場合は関節の左右が入れ替わって観測されることになるので注意が必要である。

3.3 計測プログラムの作成

センサーが取得したデータを処理する計測プログラムを開発する方法は、現段階でよく知られているものとして2通りの方法がある。ひとつは、センサーの販売元であるマイクロソフト社が提供するSDKを利用する方法である。もうひとつはセンサーの開発元であるPrimeSense社が提供するSDKの「Open NI」^{注4}を利用する方法である。前者の方法に比べて利用できる機能に一部制限があるが、無料で利用できるだけでなく、Windows以外の開発環境でも利用できるというメリットがある。本報では後者の「Open NI」を使用して計測プログラムを作成した(図2)。

3.4 センサーの設置方法

センサーの設置は、垂直に立たせた伸縮ポールにカメラ用のクランプヘッドを用いて固定させた。設置高さについては、既報³⁾の結果から床上1200[mm]の位置が最も精度よく骨格を捉えることが出来たことから、本報においても同様の高さに設置することとした。センサーの上部に水平器を装着し、カメラ部が水平を向くように調整した。

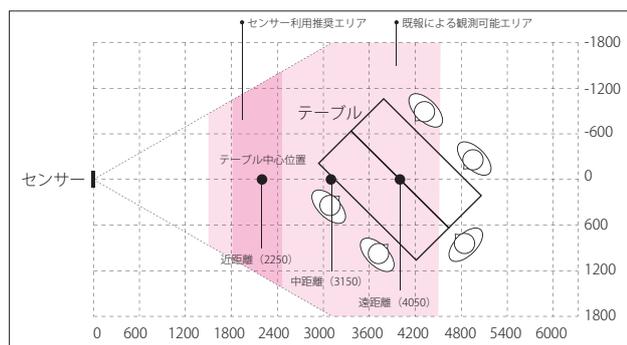


図3 実験空間設定

3.5 実験空間の設定

実験に用いた空間の模式図を図3に示す。戸建て住宅のLDKもしくはオフィスの小規模な会議室を想定し、14畳程度(6300 × 3600[mm])の空間で実施することとした。また、ダイニングテーブルもしくは会議用のテーブルが室内にあることを想定し、1200 × 1800[mm]のテーブルを用意した。センサーは空間の短辺中央に、室内中心を向くように設置した。

3.6 実験条件

本報では、空間もしくは観察対象となる人間の条件が異なることで、居室内人数の観測精度がどの程度となるかを検証するものである。従って、実験で取り扱う変数を表1のように設定し、その組み合わせから全15種類の実験条件を実施した。いずれの実験条件も1回のみ実施した。

<テーブルの有無>は、テーブルの存在によって人物のシルエット(主に足下)が隠れる場合の影響を明らかにするための変数である。<テーブルの設置位置>は、センサーからテーブル中央までの距離であり、観測される人物のシルエットが遠くなる場合の影響を明らかにするための変数である。<テーブルの角度>は、シルエットの重なり具合が変わることが及ぼす影響を明らかにするための変数である。<姿勢>は、人物の姿勢が立位の場合と椅子座位の場合との違いが及ぼす影響を明らかにするための変数である。

3.7 被験者への行動指示

本報において、被験者は実験者が指示したスケジュールに従って実験室内へ出入りすることとした。被験者は全部で5名とし、実験開始後30秒おきにひとりずつ実験室に入室し、全員が入室した後は同じく30秒おきに、入室した順にひとりずつ退出するという行動パターンを、各実験条件ごとに実施した。これは、被験者に完全な自由行動を許してしまうと、実験条件ごとの計測精度の違いを考察しづらくなると考えられたためである。

被験者は、テーブルがある条件では図3中に示す位置で立位もしくは椅子座位をとることとしたが、テーブルがない条件ではある条件の場合と同じ位置で立位の姿勢をとることとした。実験空間内で所定の位置についているとき、被験者には他の被験者と会話したり軽食をとるなど、比較的自由的な行動については認めた。

表1 実験条件一覧

	実験条件番号														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
テーブルの有無	なし	なし	なし	あり	あり	あり	あり	あり							
テーブルの設置位置	近	中	遠	近	中	遠	近	中	遠	近	中	遠	近	中	遠
テーブルの角度	-	-	-	0	0	0	45	45	45	0	0	0	45	45	45
姿勢	立位	立位	立位	立位	立位	立位	立位	立位	立位	立位	椅子座位	椅子座位	椅子座位	椅子座位	椅子座位

3.8 データの集計方法

センサーは観測するフレームごとに画角内の骨格数を計測するため、その数をもって観測人数とみなす事とした。センサーによる観測フレーム間隔は1秒あたり約16フレームとなっており、ひとつの実験条件に要する時間が330秒であることから、全5500フレームぶんの観測データを扱うこととした。また、被験者に対して実施した入退室の指示によって本来想定される居室内人数のことを「想定人数」と呼ぶこととし、以降の考察では、この想定人数と実際に観測された人数との差の絶対値を、全フレームに対して総和をとったものを「観測誤差」と呼ぶこととする。

4. 実験結果および考察

すべての実験条件の様子を図4～18に、観測人数の推移を図19～23に示す。これらの図からわかるのは、設定された実験条件によって、テーブルによって生じるセンサーへの死角の違い、他の被験者のシルエットとの重なり具合、テーブルとのなす角度によるシルエットの見え方の違いといったことに特徴が見られるということである。また、すべての実験条件の観測誤差を図24に示す。以降では、実験で取り扱った変数ごとに観測誤差の違いを比較する。

4.1 基本状態の特徴

実験条件1～3はテーブルがなく、被験者が立位の姿勢であることから、これを本実験における基本状態として扱うこととする。

図19より、被験者らの立ち位置がセンサーから遠くなるにつれて観測誤差が大きくなることがわかる。

これはセンサーからの距離が遠くなるにつれて被験者同士のシルエットが重なり合い、骨格としての判別が困難になったことが原因であると考えられる。また、被験者のうち4名はセンサーに対して体の側面を向けているが、既報^{3,4}においても人物の側面に対する骨格の観測精度は距離が遠くなるにつれて顕著に悪くなったことから、これと同様に、側面を向いていることも観測誤差に悪影響を及ぼしたものと考えられる。

4.2 テーブルの有無による影響

実験条件4～6は前項の基本状態にテーブルがある環境での結果となる。図20より、条件1に対する条件4、または条件2に対する条件5の観測精度が劣る結果となったのは、テーブルによって足下のシルエットが隠れたことが原因であると考えられる。距離が近い方が死角となる範囲が大きくなると考えられ、条件4の方が条件5より観測精度が悪くなったと考えられる。条件3と条件6の観測誤差とほぼ同程度であるが、これは距離が遠くなったことでテーブルによる死角の影響が小さくなったためであると考えられる。図6と図9からも、テーブルの影響が小さいことがわかる。

4.3 被験者の姿勢による影響

図20と図22、あるいは図21と図22とを比較すると、立位と椅子座位とでは、椅子座位のほうが観測誤差が大きくなった。これは前項の結果のようにテーブルによる死角の影響があっただけではなく、「OpenNI」による姿勢推定エンジンが椅子座位をサポートしていないことも原因であると考えられる。距離の違いによる観測誤差の傾向はいずれの姿勢においても同様であり、影響は見られなかった。



図4 実験条件1



図7 実験条件4



図10 実験条件7



図13 実験条件10



図16 実験条件13



図5 実験条件2



図8 実験条件5



図11 実験条件8



図14 実験条件11



図17 実験条件14



図6 実験条件3



図9 実験条件6



図12 実験条件9



図15 実験条件12



図18 実験条件15

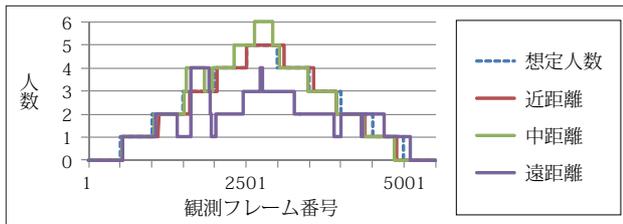


図 19 実験条件 1～3 の計測人数推移

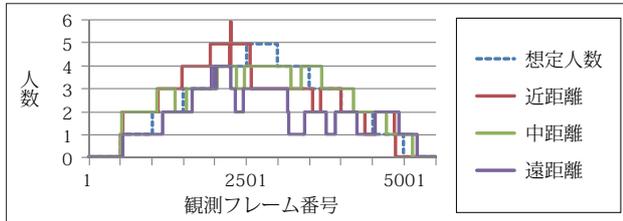


図 20 実験条件 4～6 の計測人数推移

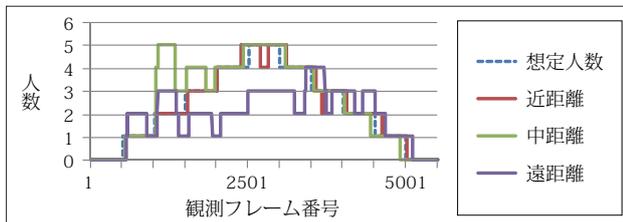


図 21 実験条件 7～9 の計測人数推移

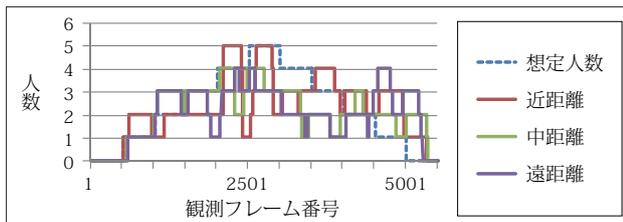


図 22 実験条件 10～12 の計測人数推移

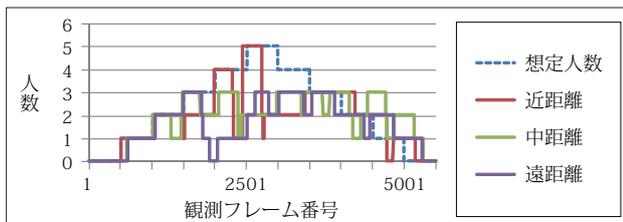


図 23 実験条件 13～15 の計測人数推移

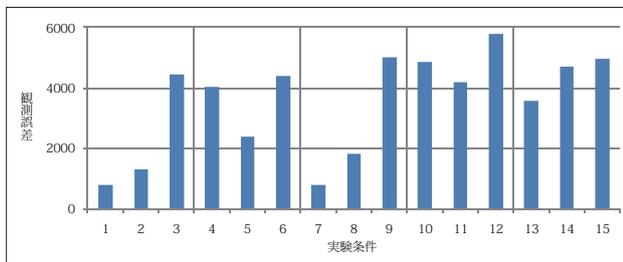


図 24 全実験条件の観測誤差

4.4 テーブルの角度による影響

図 20 と図 21、あるいは図 22 と図 23 とを比較すると、立位と椅子座位共に 45 度の条件の方が観測誤差が低くなる結果となった。テーブルに角度がつくことで人物のシルエットがやや正面向きとなり、セン

サーが骨格推定をしやすくなるためと考えられる。

4.5 各変数の影響度

実験で扱った各変数を説明変数として、観測誤差を目的変数として重回帰分析を行い、得られた標準化回帰係数を指標として各変数の影響度を比較した。標準化回帰係数は遠距離条件と椅子座位条件とが双方共に約 0.58、テーブル角度 0 度条件が約 0.28、近距離条件約 0.01 となったことから、観測誤差に強い影響を与える条件はテーブルへの距離と姿勢であり、その次にテーブルの角度であることが明らかになった。

5. まとめ

本報では、人物の骨格を観測できる安価なモーションセンサーを利用し、居室内にいる人数の観測をどの程度精度よく実施できるか検討を行った。特に人物の姿勢や距離などを変数として観測誤差がどのように変化するか実験的に検証した。観測誤差に影響を与えるものとしては、テーブルまでの距離と被験者の姿勢が強く関与することが明らかになった。

参考文献

- 1) スマートな情報通信技術で実現する建築性能モニタリングの未来像：日本建築学会，大会（北陸）研究協議会，2010-9
- 2) 遠田敦，菊地弘祐，中川純，渡辺仁史：「オープンソースハードウェアを用いたローコストワイヤレスセンサーネットワークインフラの実証実験」，日本建築学会，大会（関東）学術講演梗概集，521-522，2011-8
- 3) 遠田敦，林田和人，渡辺仁史：「スリッパ型 RFID リーダによる歩行行動追跡」，日本建築学会，計画系論文集，73(630)，1847-1852，2008-08
- 4) 遠田敦，林田和人，渡辺仁史：「建築分野におけるローコストモーションセンサの利活用に関する研究 その 1 居住者位置の計測精度の検証」，日本建築学会，大会（東海）学術講演梗概集，99-100，2012-9

注

- 注 1 <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/> : KINECT for Windows SDK, Microsoft (参照：2012-10-1)
- 注 2 原稿執筆時の最新バージョンは 1.5 であるが、後に 1.6 が公開されている。
- 注 3 ニアモード使用時に 0.4～0.5[m] 程度の近距離で計測が可能。また、SDK1.6 以降では最大 10[m] の深度まで計測できるようになった。
- 注 4 <http://openni.org> : Open NI (参照：2012-10-1)

*1 東京理科大学 理工学部 助教 博士 (建築学)

*2 早稲田大学 理工学術院 客員准教授 博士 (工学)

*3 早稲田大学 理工学術院 教授 博士 (工学)