

情報量の最大化に基づく指向性センサの方向制御

我 妻 裕 樹^{†1} 阿 部 洋 丈^{†1}
岡 部 正 幸^{†2} 梅 村 恭 司^{†1}

本研究では、複数の方向制御可能な指向性センサを用いた人物検知システムを考え、それらのセンサがより良く人物を検出できる方向を探し出すための手法を考案し検討する。その際、センサの方向の「良さ」を評価するための尺度が必要となるが、ここでは全体のセンサから得られるデータの情報量の大きさを評価尺度とした。センサから得られる情報量が最大となる方向を探し出す単純な方法として各センサの方向のすべての組み合わせに対して情報量を計算するという方法があるが、組み合わせの数が膨大となるので現実的ではない。そこで、センサから得られる情報量が最大となる方向を効率的に探索する手順を提案する。また、実験を進めていく過程で問題となった点について検討する。

Direction Control of Directional Sensors Based on Entropy Maximization

WAGATSUMA Yuki,^{†1} ABE Hirotake,^{†1} OKABE Masayuki^{†2}
and UMEMURA Kyoji^{†1}

In order to detect the person with direction controllable sensors, we propose a method to search the most effective direction from the detected data. In that case, we have to have a criteria to evaluate the effectiveness of sensors. We use a entropy of data as a criteria to evaluate. It would be the most simple strategy to search the direction that maximize the entropy of all combinations of the direction of each sensor. This strategy, however, is unrealistic because the number of all combinations is enormous. Therefore, we propose an effective method to maximize the entropy. In addition, we discuss the problem appeared in the process in the experiment.

1. はじめに

近年、ホームセキュリティシステムや高齢者の見守りシステムを個人宅に導入する事例が少なくない。これらのシステムでは、あらかじめ屋内内外に各種センサを設置しておき、周囲の情報を収集する。このようにして集めた情報を元にして異常検知を実現している。これらのシステムで用いられるセンサのうち人物の有無を検知するセンサの検知領域は、全方位に広がっているのではなく、程度の差こそあるものの指向性を持っている場合が多い。例としては、ビデオカメラや赤外線センサ、超音波センサといったものがあり、いずれのセンサも検知領域は一部の

範囲に限られている。

指向性を持つセンサを利用したシステムでは、センサの検知方向がシステムの性能を左右する重要な要素になる。極端な例ではあるが、普段から人が往来する経路（動線）がセンサの検知領域に全く捉えられていない場合、そのセンサから得られる情報は異常検知には全く役立たないことになる。センサの検知領域が動線を捉えている場合でも、検知領域内により長く動線を捉えているほうが、センサの検知ミスが減少して得られる情報も多くなると考える。また、センサ設置後に周囲の状況が変化し、検知領域が当初期待していたものと異なるものになり、システムの性能が低下してしまうという可能性もある。例としては、センサの前に物が置かれることによって人物の検知ができなくなるという場合がある。よって、センサの設置時に検知方向を決定する場合や、設置後に周囲の状況が変化していく場合には、より良い検知方向を見つ

^{†1} 豊橋技術科学大学 情報工学系
Department of Information and Computer Sciences,
Toyohashi University of Technology
^{†2} 豊橋技術科学大学 情報メディア基盤センター
Information and Media Center, Toyohashi University of Technology



図1 方向制御可能な指向性センサノード

け出す必要がある。

そこで、本研究では複数個の方向制御可能な指向性センサから構成されるシステムを考え、それらのセンサから得られる情報を基により良い検知方向を見つけ出す手法を提案する。また、センサの検知方向の「良さ」を評価するための尺度として、全体のセンサから得られるデータの情報量¹⁾の大きさをを用いることとする。

2. 方向制御可能な指向性センサシステム

方向制御可能な指向性センサシステムの主要な構成要素として、データを取得する複数のセンサノードと、データの収集とセンサの方向を制御するサーバPCがある。センサノードはLEGO MINDSTORMS NXTを用いて作製されており、サーボモータによる方向制御やBluetoothによる通信が容易に実現できる。

今回製作したセンサノードを図1に示す。センサノードは、人物を検知するセンサとして焦電型赤外線センサを2個搭載している。焦電型赤外線センサは、人体から発せられる赤外線による温度変化から人物を検知する仕組みである。1つのセンサから得られるデータは、検知領域内で人が動いている時は1、動いていない時は0という2値のデータである。センサノードは焦電型赤外線センサによって取得したデータをBluetoothを用いてサーバPCへと送信する。また、センサの検知方向はサーボモータで制御され左右360度可変となっており、サーバPCからBluetoothを用いて制御される²⁾。

サーバPCでは、センサノードからBluetoothを用いて送られてきた焦電型赤外線センサデータを収集・記録する。また収集したデータに基づいて、各センサノードの最適な検知方向を算出し、実際に方向を制御する。

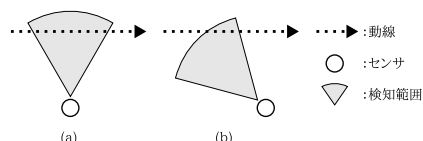


図2 単一のセンサの場合における検知方向の比較

3. センサの検知方向の評価尺度

センサのより良い検知方向を見つけ出すためには、センサの検知方向の「良さ」を比較可能にするための評価尺度が必要となる。その評価尺度として、センサから得られたデータの持つ平均情報量(エントロピー)を利用することを考える。ここでは、 N 個のセンサからなるシステムにおいて、各センサについて一定周期でサンプリングしたデータを考える。

3.1 単一のセンサに対する平均情報量

まず、単一のセンサについての平均情報量を定義する。平均情報量を計算する際のシンボルとしてセンサの2種類の出力値を考えると、シンボルの集合 S は $S = \{0, 1\}$ となる。センサ i から得られた全時刻のデータのうち、0であるデータの数を $c_i(0)$ 、1であるデータの数を $c_i(1)$ とする。また、すべてのデータ数を M とする。これより、センサ i から得られる平均情報量 $H_i(S)$ は以下の式で表される。

$$H_i(S) = -\frac{c_i(0)}{M} \log \frac{c_i(0)}{M} - \frac{c_i(1)}{M} \log \frac{c_i(1)}{M} \quad (1)$$

人の往来が非常に頻繁な場合でなければ、センサの出力が1である期間よりも0である期間の方が大幅に長くなると予想される。そのような状況においては、センサの出力が1である期間が長ければ長いほど $H_i(S)$ の値が大きくなる。センサの出力が1である期間が長くなるということは、センサの検知領域内に長く動線を捉えられているか、または検知領域内においての人の往来が多いということである。したがって、 $H_i(S)$ の値が大きいくほど、センサ i は良い方向を向いているとする。図2に示す例で考えると、(b)と比較して(a)のほうが動線を長く捉えている。よって、(a)と(b)の $H_i(S)$ の値を比較すると(a)のほうが大きな値をとるので、(a)のセンサの検知方向のほうが良いと判断されることになる。

3.2 全センサに対する平均情報量

次に、システム内のすべてのセンサについての平均情報量を定義する。平均情報量を計算する

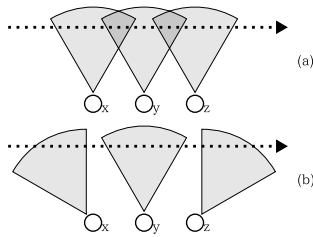


図3 複数のセンサの場合における検知方向の比較

際のシンボルとして全 N 個のセンサの出力値の組を考え、シンボルの集合 S^N は以下のように定義する。

$$S^N = \underbrace{\{0 \cdots 00, 0 \cdots 01, 0 \cdots 10, \dots, 1 \cdots 11\}}_{N \text{ 個}}$$

全時刻におけるセンサ出力値の組のうち、 $s \in S^N$ と等しい値を持つ組の数を $c(s)$ とする。これより、システム内のすべてのセンサの組から得られる平均情報量 $H(S^N)$ は以下の式で表される。

$$H(S^N) = - \sum_{s \in S^N} \frac{c(s)}{M} \log \frac{c(s)}{M} \quad (2)$$

$H_i(S)$ の場合と同様に、各センサの出力が1の期間が長ければ長いほど $H(S^N)$ の値は大きくなる。また、出現するシンボル s の種類が多ければ多いほど $H(S^N)$ の値は大きくなる。出現するシンボルの種類が多くなる場合というのは、各センサがそれぞれ単体で反応しているだけではなく、複数のセンサが重複して反応しているような場合である。図3に示す例によって、複数のセンサが重複して反応する利点を考える。各センサがそれぞれ単体で反応する (b) の場合には、以下に示す3種類の情報が得られる。

- センサ x の前を人が通過した
- センサ y の前を人が通過した
- センサ z の前を人が通過した

複数のセンサが重複して反応する (a) の場合には、(b) の場合に得られる情報に加えて、以下の2種類の情報が新たに得られる。

- センサ x と y の間を人が通過した
- センサ y と z の間を人が通過した

よって、複数のセンサが重複して反応するほうがより詳細に人物の移動の様子を捉えることができる可能性がある。したがって、 $H(S^N)$ の値が大きいほど、システム全体として見たときに各センサが良い方向を向いているとする。

4. センサから得られる情報量の最大化

評価尺度 $H_i(S)$ もしくは $H(S^N)$ といった情報量の値を最大とするような、各センサの最適な検知方向を見つけ出す手法を考える。最も単純なものとして、各センサの可能なすべての検知方向について $H_i(S)$ を、その検知方向のすべての組み合わせについて $H(S^N)$ を求めるという手法がある。しかし、可能なすべての検知方向とその組み合わせの数が膨大になってしまい、現実的な時間内には各センサの最適な検知方向を見つけ出すのは不可能である。

そこで、情報量の値が各センサの検知方向に対して連続となると仮定し、山登り法によって各センサの最適な検知方向を見つけ出す手法を提案する。そのために、わずかに異なる2つの検知方向について実際に情報量を測定し、左右どちらがより情報量が大きくなるかを調べる。

提案手法を1つのセンサで実現しようとすると、2方向に対するデータを2回に分けて別々に取得することになる。この場合には、2方向に対するデータは同時に取得されたものではないので、それぞれ異なるイベントを記録したデータであり、単純に情報量の大小を比較することができないという問題がある。そこで、2つのセンサを用いて、異なる2つの検知方向についてのデータを同時に取得するという方法を提案する。

5. 今後の課題

5.1 センサ出力の情報源のモデル化

提案したセンサの検知方向の評価尺度である情報量 $H_i(S)$ と $H(S^N)$ では、一定時間内のセンサのデータにおいて0と1の出現確率のみに注目している。よってこの評価尺度には、一定時間内におけるセンサデータの時間的な変化の情報が全く反映されないことになる。

例として、センサのデータの0と1の出現確率がともに1/2となる条件において、前半に1が連続して現れて後半はすべて0が現れる場合と、0と1が短い周期で交互に現れる場合という異なる2つの状況を考える。提案した評価尺度では2つの場合には全く差が出ないが、人間の感覚ではこれら2つの場合のデータから得られる情報には大きな差が存在する。

これは、各センサ間の出力が独立であり、さらに現在と過去のセンサの出力も独立である情報

源と仮定して情報量を算出していることに原因がある。しかし、実際のセンサでは、各センサ間の出力には依存関係があり、現在のセンサの出力と過去のセンサの出力にも強い相関がある。よって、実際のセンサの出力がどのような情報源によって表現できるかというモデルを考える必要がある。

5.2 検知方向の局所解への収束

提案した情報量を最大化する手法では、情報量が極大の検知方向（局所解）に収束し、情報量が最大となる検知方向（最適解）に到達しないという問題がある。よって、局所解に収束してしまうのを回避する手法が必要となる。

局所解への収束を回避する手法として、複数の初期検知方向に対して提案手法を適用する方法や、いくつかの検知方向に対してあらかじめ情報量を測定して情報量が最大となる検知方向のおおまかな見当をつける方法、慣性項に類似した働きをする仕組みを導入する方法が考えられる。しかし、これらの解決手法では検知方向が収束するまでの時間が長くなってしまいうという欠点がある。よって、検知方向の局所解への収束の回避と、検知方向の収束時間のバランスを考慮した手法が必要である。

5.3 センサから得られる情報量の時間変動

ある方向に対する情報量は常に一定となるわけではなくデータを取得する時間帯によって変動するため、情報量が最大となる検知方向も時間帯によって変化する問題がある。

例えば、日中と夜間では人の移動の様子は異なる場合が多いため、情報量が最大となる検知方向も異なるものになる。このような場合、センサの検知方向の更新間隔を1時間にすると、1日の中で情報量が最大となる検知方向が変化しつづけて収束しないことになる。

よって、検知方向を収束させるためにはセンサの検知方向の更新間隔を適切に決めることが重要である。センサの検知方向の更新間隔を長くすればするほど、検知方向が収束する可能性は高くなるが、検知方向が収束するまでの時間も長くなってしまふ。センサの検知方向の適切な更新間隔というのは、そのセンサの置かれている環境によって異なるので、それを決定する手法が必要となる。

5.4 複数のセンサに対する平均情報量の計算

センサが N 個存在する場合、提案した情報量

を最大化する手法では、 N 個のセンサすべてに対して検知方向を更新することになる。単一のセンサの検知方向の更新には、左右のどちらに変えるかという2つのパターンが存在する。これが N 個のセンサの場合には、更新パターンは 2^N 個となる。すべての更新パターンに対して情報量を計算する必要があるので、センサの数が多くなると計算量は指数オーダーで増加する。

この問題の解決方法として、他のセンサと検知方向が交わらないセンサについては、単一のセンサに対する情報量を用いても同じ更新結果が得られるので、独立に検知方向を更新することにより更新パターン数を減らすという方法がある。また、検知方向を更新したときに最も情報量への寄与が大きいセンサのみについて、検知方向を更新するといった方法も考えられる。

6. ま と め

複数の方向制御可能な指向性センサを用いた人物検知システムにおいて、各センサのより良い検知方向を発見する手法を提案した。この手法は、センサの配置を考える問題³⁾では利用できない。センサデータの平均情報量を検知方向の評価尺度とし、2つのセンサを組み合わせることで、山登り法で評価尺度が最大となる検知方向を発見するという方法である。

この方法で、少なくとも各センサが人物が観測できる方向を発見することが可能であると期待できる。

謝辞 この研究は、戦略的情報通信開発推進制度 (SCOPE) の課題「実空間情報処理のためのインターネットネットワークの研究」の成果である。また、平成20年度科学研究補助金課題番号 (19500120) の研究成果を使用した。

参 考 文 献

- 1) Shannon, C.E.: A Mathematical Theory of Communication, *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, Vol.5, No.1, pp.3-55 (2001).
- 2) 大庭慎一郎, 松原拓也: LEGO MIND-STORMS NXT グレーブック, 株式会社毎日コミュニケーションズ (2007).
- 3) Worden, K. and Burrows, A.P.: Optimal sensor placement for fault detection, *Engineering Structures*, Vol.23, No.8, pp.885 - 901 (2001).