自律型車両ロボット走行支援のための空間知情報抽出手法に関する実験的研究

Experimental Study of the Information Extract Method for Intelligent Space to Run Assist on Autonomous Mobile Robot

○正 竹澤 聡 (北海道科学大学) 学 高橋 治裕 (北海道工業大学)

Satoshi TAKEZAWA, Hokkaido University of Science, takezawa@hus.ac.jp

Haruhiro TAKAHASHI, Hokkaido Institute of Technology

In this paper, we consider taking tau-margin, which specifies time remaining before collision without information of speed and distance proposed in ecological psychology, into design of mobile robot. We try to reduce state-space and give the robot robustness for change in speed by using tau-margin. We carried out various simulations to evaluate hypnosis's mobile robot. As a result, we confirmed the robot could achieve obstacle avoidance task regardless of changing in speed of robot. At the next stage, we are planning to test the usefulness of tau-margin to implemented robot.

Key Words: Optical Information, Mobile Robot, Collision Avoidance Problem

1. はじめに

私たちが家で暮らしているとき、その家の環境は常に一定ではないと言える。例えば、就寝や家事を行う目的がある場合、人は目的を達成するための場所に必要に応じて移動をする。時には家具などの物の配置や小物の保管場所が変わることもある。空間知の実現は、その動的な実環境の情報を正確に得なければならない。空間知による情報通信の正確性は重要な土台部分と言っても過言ではなく、人へのサービスやロボットの制御にも大きく影響する。近年では、街角で端末をかざすことによって、場所や対象物に対応した情報をネットワーク越しに閲覧できるシステムも登場した。

一方、ロボット工学において、ロボット単体がもつ性能のみに頼るのではなく、環境側に安価なセンサ等をモノや障害物に多数配置することで人間の意図実現を狙う研究も推進されてきている。例えば、これまでに障害物への衝突を回避するロボットの研究は数多く行われてきた。この回避行動をとるタイミングを決定するための危険度の指標として、物体と物体の相対速度から衝突までの時間を予測する TTC (Time-to-Collision 以下TTCと記す) が知られている。TTCは障害物との衝突までの時間をカメラ画像から推定することで得られるが、人間などの移動する障害物に対しても有効である。

我々は、空間知にTTCの技術を併用することで複雑かつ動的な実環境の中で知的行動をさせる困難性の克服の一助になると考える。なぜなら、ロボットが十分な知能をもたなくても、空間知を利用することでより知的に制御することが可能となる。空間知を利用したロボット制御により、単純な行動性能しか持たないロボットであっても、人が共存する実環境で状況に合わせたサービスを提供できることを期待している。

2. 目 的

本研究の目的は光学的情報 τ と方向情報の取得を赤外線とフォトトランジスタを用いた簡易小型ロボットにより行い、空間知に基づく速度及び位置制御を行うことを想定した検討を行うことである。なお、数値シミュレータライブラリとして Open Dynamics Engine (ODE) version 0.12.1 を使用し開発コスト削減も図った。

解釈情報は Bluetooth による通信手段を採用し、屋内にいる人やロボットと情報をやりとりする方法として用いた場合、実用性があるか実験的に研究を行う。

3. 実 験

本研究では、ビジョンセンサを持たない小型ロボットを対象とし、赤外線を用いることで PC を搭載せずに TTC 及び方向情報の取得を想定する。しかし、赤外線センサは TTC の計算に必要な距離情報の取得が困難であるという問題がある。また方向情報を検知するため、指向性を持ち対象物との距離によって値が変化するセンサであるフォトトランジスタを用い、それらをロボットの周囲に配置する。TTC を計算する上での問題点として、赤外線センサは距離情報の推定が困難であるという課題がある。そこで本研究では生態心理学の知見である光学的情報 τ をロボットの設計に取り入れることを考える。これをロボットに搭載する場合においてはセンサとしてカメラおよび画像処理のために PC を搭載しているため、災害現場等の狭い環境で活動するためにはロボットの小型化が必須である。

本実験は、屋内にいる人間の脈や心拍数、体温(以下、健康状態)などを把握することを目的とした空間知を想定して行う。以下にそれぞれの詳細と行った実験の説明を記す。

① プログラムの内容と送受信の役割

BT ドングルを用いた無線シリアル通信による送受信を行う内容である。受信側(ノート PC)のモニターには健康状態を確認できるようになっている。本実験では健康状態を normal(正常), abnormal(異常), danger(危険)の 3 種類に分けている。モニターにはそのいずれかの状態と、後述する電圧の値がリアルタイムで表示される。送信側(Arduino)を屋内にいる人間のモデルとする。このモデルは 1 秒間に 1 回、現在の自身の健康状態を絶えず発信するようプログラムされている。健康状態は電圧の値で把握できるというふうに仮定する。Arduino の A0 ピンの電圧の数値が 2V 以上で正常、1.99V 以下で異常、もしくは 0V で危険であると送信するようになっている。

② 実験方法

図 1 は本実験の人間の心拍モデルである。このモデルから健康状態を把握する空間知の実験を行う。

図 2 は本実験室の簡易モデルである。室内は縦約 10m、横約 6.5m の広さであり、内部は A, B, C の 3 つの空間に分けられる。黒い太実線の壁の厚みは約 15cm、点線はガラス窓がはめられた木材の壁で約 3cm の厚みがある。

受信側のノート PC は赤い丸印の場所を定位置にして実験を行った。モデルは実験によって場所の移動を繰り返し、通信に何か影響が出るのか検証した。検証内容は、それぞれ以下の通りである。

- 1) それぞれの空間 A~C の位置からモデルと通信を行えるか。
 - 2) 1) の実験で、モデルの健康状態 3 種類が正しく表示されるのか。
 - 3) モデルに空間 A~C 間を不規則に移動させ、かつ健康状態も不規則に変動させた場合、正しく情報を得られるか。
 - 4) Bluetooth の通信の障害となりうる周波数帯で混戦状態の環境を作り、3) の実験を同様に行って正しく情報を得られるか。
- なお、混線状態にした状況の詳細は以下に大別される。
(各空間で 2.4GHz に近い周波数の通信を行い故意に混戦状態の空間を再現する。)
- ・空間 A で別種類の BT ドングルを用いた、実験とは無関係な通信。
 - ・空間 B で Xbee 同士を用いた、実験と無関係な無線通信。
 - ・空間 C で携帯電話を用いた、実験と無関係な Bluetooth の無線通信。
- 5) モデルが 2333 号室の外に出た場合、どこまで正確な通信を行えるか。

ここからは、小型ロボットの走行性能について述べる。光学的情報 τ は人間をはじめとする動物が、接近してくる

Fig.1 Human cardiac beats model

Fig.2 Model room for experiments

物体との衝突を反射的に回避するために用いる生得的な情報であり、視覚内において対象物が占める視野角の拡大率を元に、速度や距離の情報を用いることなく TTC を特定できる特徴を持つ。

本研究では、光学的情報 τ における視野角を赤外線的光量に置き換え、TTC を取得する。これにより、カメラを用いず TTC と同等の情報を取得可能であると考えられる。

図 3 は光学的情報 τ の概念図である。光学的情報 τ の定義式を式(1)に示す。

$$\tau = \frac{\theta}{d\theta/dt} = \frac{R/Z}{(dZ/dt)(-R/Z^2)} = \frac{-Z}{dZ/dt} \quad (1)$$

ここで、 θ は観測者の物体に対する視野角、 Z は観測者から物体までの距離、 R は物体の一边 PP' の長さである。

ここで、 θ を $\theta = R/Z$ と近似すると、視野角の拡大率の逆数は $\theta / (d\theta/dt)$ は、 $-Z / (dZ/dt)$ と書くことができ、これは観測者が対象物に到達するまでの時間を表しており、障害物との衝突のタイミングを検知することが可能である。

従来、移動ロボットにおける衝突の危険度を表す指標である TTC はカメラの画像情報から障害物との距離を推定し、時間差分から速度を算出する方法をとっているものが多い。このため、正確に TTC を算出する前には正確に距離推定をしなければならず、画像処理や計算のために PC のような計算機を必要とし、その結果ロボットが大型化してしまうという問題がある。

これに対し、本研究ではカメラを用いず TTC を取得することを考える。ただし、赤外線等のセンサを用いて従来手法と同様に距離を正確に推定するためには、十分な精度を持つセンサ機器が必要であり、ロボットの小型化は困難である。そこで本研究では、赤外線センサを用い、光学的情報 τ と同様にセンサ入力そのものではなく、その拡大率から TTC を計算することを考える。反射光を考えた場合、センサに入射する網領の大きさは障害物の材質(反射係数)によって変わるが、これは時間の関数ではないため、拡大率が距離のみに依存するという特徴は変わらない。つまり、反射した赤外線がセンサに届きさえすれば、TTC を検出することが可能である。さらに、この方法であれば赤外線以外の音や光を用いたデバイスでも手法の再現が可能であると考えられる。

センサとして光の強さを電流に変換するフォトトランジスタを用いる。フォトトランジスタから流れる電流 I_{pv} は照度 E に比例しており $I_{pv} = \alpha E$ と書ける。

Fig.3 Concept of optical information τ margin

この電流は微弱であるため、 I - V 変換回路で β 倍して電圧に変換し、出力電圧 $V_{pt} = \beta I_{pt}$ を得る。光の強さは逆二乗則で減衰することから、照度と距離の関係は、 $E = L/Z^2$ のように書ける。ここで L は光源の光度、 Z は測距距離である。上式を用いると、光学的情報 τ が特定する TTC である $-Z/(dZ/dt)$ は式(2)のように書くことができる。

$$\tau_{pt} = \frac{-2Z}{dZ/dt} = \frac{L/Z^2}{d(-L/Z^2)/dt} = \frac{-E}{dE/dt} = \frac{-V_{pt}}{dV_{pt}/dt} \quad (2)$$

ここで照度 E は点光源を仮定したものであるが、障害物に反射する場合にはその材質によってきまる反射係数が乗算されるのみであり、その拡大率は距離に依存する特徴は変わらないため、理論上反射光を利用した τ 情報の検知も可能である。さらに、複数のフォトトランジスタを用いて τ 情報を検出することを考える。

まず、複数のフォトトランジスタを 1 番から n 番まで番号付けして並べる。このとき、これらの指向性に合わせ、光源とフォトトランジスタ群の角度が変化しても距離が変わらなければ、出力の総和は変化しないように並べる。このように配置することにより、 i 番目 ($1 \leq i$) から j 番目 ($j \leq n$) までトランジスタを用いて τ 情報を計算する場合には、式(3)のようにあらわされる。

$$\tau_{PT}(i, j) = \frac{\sum_{k=i}^j V_{PTk}}{d(\sum_{k=i}^j V_{PTk})/dt} \quad (3)$$

方向情報を検知するため、左から順に 1 番から n 番までの番号付けされた n 個のフォトトランジスタを並べ、ある障害物の光を検知するものとする。このとき全フォトトランジスタの出力値の和で、各々の値に重みづけた上での全体の出力の和を割り算することで式(4)のように示される。

$$d(i, j) = \frac{\sum_{k=i}^j (k-1)V_{PTk}}{(n-1)\sum_{k=i}^n V_{PTk}} \quad (4)$$

4. シミュレーション

図 4(a), (b)は、仮想ロボットのセンサ配置状況である、フォトトランジスタおよび発光赤外線 LED (以下、発光受光部と呼ぶ) をそれぞれ上下対で 8 組を円弧上に搭載することを想定する。センサの配置は進行方向を y 軸正と取ると右側面から 1 番と順次反時計回りに 8 番まで、 x - y 座標 $(0, y_p)$ を中心に 30° 刻みで取り付ける。Pitch 角は 0° とする。 $y_p=0.2$ m として発光受光部を放射状に設置する。

この配置により、左右約 120° の範囲の赤外 LED の光を検知することが可能である。

ロボットの寸法は全長 0.6m、全幅 0.4m、高さ 0.2cm (大車輪半径 0.5m、台車本体 0.1m、発光受光部 0.5m) である。また、ロボットの総質量は 11.5kg (ロボット台車 9.4kg、車輪 3 個合計 0.5kg、発光受光部 8 対合計 1.6kg) である。これより方向情報 d を求める式 (4) 中の n は 8 となる。

図 5 は、 d 値によりロボットが旋回して発光球体を捉えるために各センサが入替わる様子を示したものである。最終的には sensor3 が $d=1$ を示し他のセンサーがそれより低い値で安定したのは発光球体がロボットの左前方、sensor3 の正面を転がりロボットがそれに追従する形となったことが判る。

Fig.4 Image of detecting arrays

Fig.5 Transient of directional information d

5. 結論

本研究では、自律移動ロボットに共通する基本的タスクは障害物回避であるとの立場から、ロボットと物体との衝突までの残り時間を特定する光学的情報 τ について検討した。

小型ロボットのための TTC の取得を目指し、赤外 LED とフォトトランジスタを想定した障害物回避ロボット設計のためのシミュレーションを行った。方向情報 d 値は左右の値が小数点以下においてほぼ同程度の対象的な値を示した。

今後は実験により τ の有効性を示し、無線通信で得られる生体情報を無線通信を得て視野角の変化によって TTC を測定し、障害物回避問題に対応できることを示したい。

文 献

- [1] 出村 公成, 簡単!実践!ロボットシミュレーション- Open Dynamics Engine によるロボットプログラミング, 森北出版, 2007
- [2] 藤井 宏行, 永田 裕一, 小野 功, 小林 重信, 光学的情報 τ を用いた移動ロボットの設計と評価, 日本ロボット学会誌, vol.28, No10, PP.1189-120, 2010
- [3] S. TAKEZAWA, T. SHIRAKAWA & T. YAMASE, Study for Decision Method of Optimal Parameter to Collision Avoidance Problem in the Mobile Robot, 日本機械学会, No.12-5, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, RM12,1125,2012