



日本知能情報ファジィ学会

Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics

第 59 回知的制御研究会 (SIC2011-1)

論文集

主催：日本知能情報ファジィ学会 知的制御研究部会

開催日：2011年7月2日（土）13：30～16：40

会場：法政大学小金井キャンパス 南館 7階 AV 教室

目次

論文集製本 13:30-13:40

講演 1 13:40-14:00

タッチパネルセンサの肌センサへの応用..... 1

○阿部 祐也,大久保 友幸,小林 一行(法政大学)

講演 2 14:00-14:20

快音化

のためのモータ制御法について..... 3

○宇田川 博樹,杉山 大輔,大久保 友幸,小林 一行(法政大学)

講演 3 14:20-14:40

RoboCup シミュレータを用いた戦略の一提案..... 5

○平田 桂士,大久保 友幸,小林 一行(法政大学)

講演 4 14:40-15:00

3 軸磁気・加速度センサを用いた歩行解析システムの開発..... 7

○南 明,大久保 友幸,小林 一行(法政大学)

休憩 15:00-15:20

講演 5 15:20-15:40

旋回クレーンにおける残留振れと運搬時間の関係に関する研究..... 11

○井上 晃誓,澁谷 長史,安信 誠二(筑波大学)

講演 6 15:40-16:00

過去状態を考慮した知的駐車制御システムの提案..... 15

○呉 涛,安信 誠二,澁谷 長史(筑波大学)

講演 7 16:00-16:20

予見ファジィ制御を用いた知的縦列駐車システムの開発..... 19

○賀 川,安信 誠二,澁谷 長史(筑波大学)

講演 8 16:20-16:40

動的環境へ適応可能な知的操作支援システム..... 21

○劉 翔,安信 誠二,澁谷 長史(筑波大学)

タッチパネルセンサの肌センサへの応用

Application of touch panel sensor to skin sensor

○阿部 祐也 大久保 友幸 小林 一行

○Yuya Abe Tomoyuki Ohkubo Kazuyuki Kobayashi

法政大学大学院工学研究科システム工学専攻

Graduate School of Engineering, Hosei University

1. はじめに

近年、ロボット技術の発展に伴い人と接する目的として自立的に行動するペットロボットや介護ロボットなどに対して関心が高まってきている。そうしたロボットが人と安全にコミュニケーションをとったり、周囲の環境に適応したりするためにはロボットの全身に触覚を付与することが求められる。人の感じている感覚に近い触覚情報を取得しようとする多くの研究がされている。^[1]それは、人の肌の触覚が現状のロボットの触覚センサに比べて非常に優れた機能を有しているからである。

人の肌は、主に4つの感覚点によって感覚を得ている。具体的には圧点、痛点、冷点、温点が存在し、それらが特定の刺激に対して感度よく反応して、圧覚、痛覚、冷覚、温覚だけでなく対象の弾性特性や表面形状、物体が触れている場所なども認識することができる。^[2]このような人の優れた触覚センシング機能をロボットに搭載することはロボティクスの分野において非常に重要である。

このような背景から本研究では、人の肌を模擬した触覚センサの開発をすることを目的とする。

2. 構想しているシステム

構想しているシステムをFig. 1に示す。人の肌には、4つの感覚点が存在している。そこで人の肌を模擬した触覚センサを開発するにあたり、これら4つの感覚点と人の肌の特徴である位置の検出について着目した。具体的には位置の検出についてはタッチパネルセンサを用いて検出し、圧点・痛点については圧力センサを用いて検出、温点・冷点については温度センサを用いて検出する。これら複数のセンサを組み合わせることによって人の肌を模擬した触覚センサを開発することを目標としている。

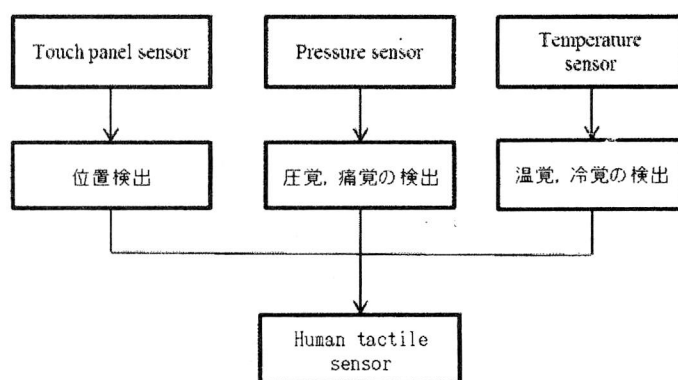


Fig.1 構想しているシステム

3. タッチパネルセンサ

現在もっともよく使われているタッチパネルセンサは静電容量方式の投影型であり、iPhone や Android 携帯などに使われている。しかし、静電容量方式は人の指、もしくは誘電体でしか反応しないという欠点がある。また、従来からある研究としては赤外線を利用した光学式タッチセンサがある。^[3]しかし、この方式は外乱光に弱いという欠点がある。また、装置がやや大掛かりになってしまいコストがかかってしまう上に他のセンサと組み合わせづらくなってしまふなどの問題がある。

そこで今回、抵抗膜方式のタッチパネルセンサは上記のような問題点がないのでこれを使用することにした。また、今回使用したのは4線式抵抗膜方式タッチパネルセンサである。実験によりこのセンサの肌センサとしての有用性を確かめた。

4. 提案するシステム

提案するシステムをFig. 2に示す。本研究では、人の肌の触感をだすためにシリコンゴムを自作し、タッチパネルセンサの上におくことによってより人の肌に近いセンサの作成を試みた。シリコンゴムは固めとやわらかめの2種類を作成した。固めのシリコンゴムは造形村社製の型取り用透明シリコンゴムを使用し、やわらかめのシリコンゴムはエクシール社製の人肌のゲル硬度0を使用した。

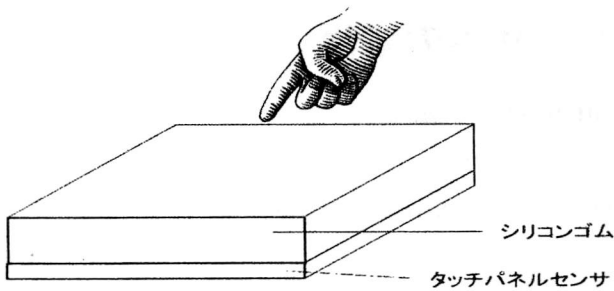


Fig. 2 提案するシステム

5. 実験

5.1 実験概要

タッチパネルセンサから得られた X 座標と Y 座標のデータをマイコンで A/D 変換してシリアル通信で PC に取り込みデータを処理する。

- (a) 作成した固めとやわらかめの 2 種類のシリコンゴムをタッチパネルセンサの上に乗せて計測を行い、タッチパネルセンサの性能を検証する。
- (b) 作成したシリコンゴムの肌の触感としての評価を行う。

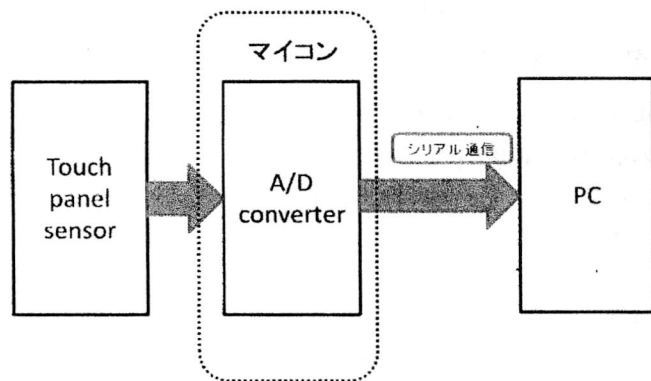


Fig. 3 実験概要

5.2 実験方法

- (1) タッチパネルセンサの上に自作した固めのシリコンゴムを乗せ、指でシリコンゴムの左から右になでる。
- (2) タッチパネルセンサの上に自作した固めのシリコンゴムを乗せ、指で大きな円を描くようになでる。
- (3) やわらかめのシリコンゴムでも同様に (1), (2) の操作を行い、検証する。

5.3 実験結果

実験結果を Fig. 3, Fig. 4 に示す。左の波形が指でシリコンゴムの左から右になでた波形で、右の波形が指で大きな円を描くようになでた波形である。

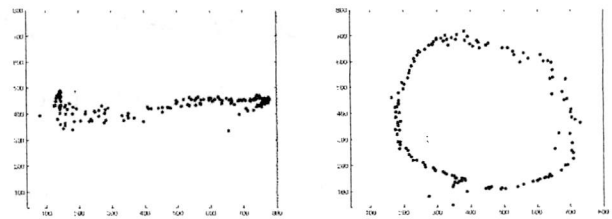


Fig. 4 固めのシリコンゴムの実験結果

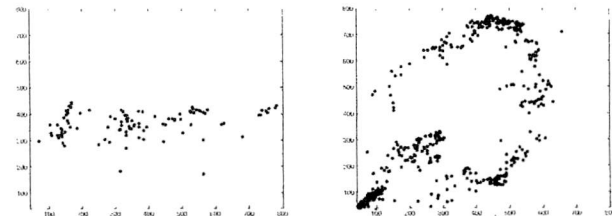


Fig. 5 やわらかめのシリコンゴムの実験結果

5.4 考察

(a) 実験結果の波形をみてみると、やわらかめのシリコンゴムの方の波形が少しばらついてしまっているが、これはシリコンゴムのやわらかい性質によるものであり、また、この程度のばらつきは精度にそこまで支障をきたさないといえる。

(b) 自作したシリコンゴムを実際にタッチパネルセンサの上に乗せて計測してみたところ、やわらかめのシリコンゴムの方が固めのシリコンゴムよりもより肌に近い触感が出ていた。

6. おわりに

タッチパネルセンサの性能と作成したシリコンゴムの肌としての触感について検証を行った。タッチパネルセンサの性能は肌センサとして十分な性能を持っており、肌センサとして有用であるといえた。作成したシリコンゴムは人の肌としての触感をだすことができ、また、タッチパネルセンサと組み合わせて使用したことにより人の肌を模擬した触覚センサに近づくことができた。

今後の展望としては、Fig. 1 で示した構想をもとに肌の圧点、痛点、温点、冷点の検出を行い、人の肌を模擬した触覚センサの開発を目標とする。

参考文献

- [1] 嵯峨智, 出口光一郎, 反射像を用いた触覚センサと人間の触覚の対比, 第 51 回自動制御連合講演会, 2008.
- [2] 永田英二, ヘルス・システム研究所, 解剖生理, pp199-200
- [3] 内藤真崎, 志築文太郎, 田中二郎, 赤外線方式タッチパネルにおける接触面積を利用した押し込み操作の基礎検討, 全国大会講演論文集 pp” 4-173” - “4-174”

快音化のためのモーター制御法について

A study on Motor control method for noise removal

○宇田川博樹 杉山大輔 大久保友幸 小林一行
Hiroki Udagawa Daisuke Sugiyama Tomoyuki Ohkubo Kazuyuki Kobayashi
法政大学大学院工学研究科システム工学専攻
Graduate School of Engineerinr, Hosei University

1. はじめに

モーターは電圧の制御により自由な回転動作を得られるため、広く利用されている。しかし、モーターは駆動する際に本体の振動、空気との干渉現象により、必ず騒音が発生する。そのため静音化に対するシステムの研究・開発が進められている。

静音化とは、騒音の音量を下げることであり、モーターの騒音に関する研究は静音化のみに視点がおかれていたが、音量の抑制には限界がある。そのため、近年の研究では静音化に代わり、快音化システムの研究・開発が進められている。

快音化とは、音量を下げることなく元の音を加工することで騒音を心地よくするという考え方である。そこで本研究では、モーターのスピーカーとしての特性を利用し、任意の周波数の音を発生させるモーター制御システムの開発を行い、快音化に結びつけることを目的とする。

2. モーターから生じる騒音

2.1 主な騒音の原因

モーターの回転によりモーター自体から発生する騒音としては、広帯域騒音・内部共鳴騒音・回転騒音の3つがあげられる。

広帯域騒音は、広い周波数範囲の音圧によりモーター自体が振動することで発生する。内部共鳴騒音は、筐体内部の共鳴周波数により顕著に表れることがあるが、共に入力周波数による音響加振力の変化は小さい。

一方、回転騒音は音響加振力によって生じ、回転時の空気との干渉現象により音響加振力が増加することもある。単一周波数成分の場合は耳障りとなることが多いが、入力する信号の変化により意図的に回転騒音を変化させることができ、変化量も大きい。

2.2 励磁音

回転騒音には、音の発生の原理によって、振動・摩擦による騒音の他に励磁音がある。これは主に入力信号の電圧

が時間変化する場合に発生する騒音である。磁性体は交番磁界を加えるとわずかに膨張したり収縮したりする性質（磁歪）があり、この体積変化が冷却油や空気を伝わり音として現れる。励磁音の場合では振動や摩擦による騒音に比べてモーターを構成する部品などによる影響が小さく、入力する信号の変化による影響は大きく受ける。

3. 等感度曲線

人間の聴覚には、音の物理的強度（振幅）が等しくても周波数が異なると、異なる大きさの音として知覚される性質がある。この等しい大きさに知覚される音を周波数別に結んで、人間の感覚を考慮した補正曲線を等感度曲線という。

4. 提案するモーター制御システム

本研究では、回転騒音が入力信号の影響を大きく受けることに着目する。

本研究では、回転騒音を自由に变化させ、駆動しながら任意の音を発生させることが可能なシステムを提案する。

Fig. 1 に提案するモーター制御システムの構成を示す。

このシステムは、モーター回転制御用 PWM1、モーター音制御用 PWM2 を出力し、信号合成部にて両者を合成し、Fig. 2 の PWM3 のような信号を作成する。これにより、モーターの励磁音の周波数を変え、騒音を制御する。

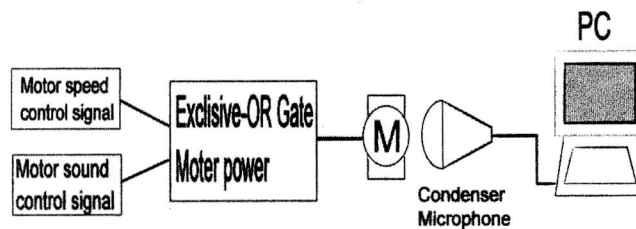


Fig. 1 モーター制御システム

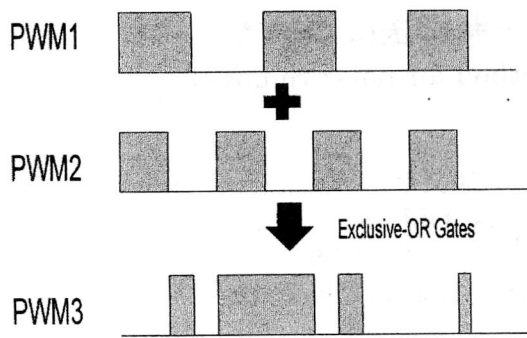


Fig. 2 PWMの乗算

Table 1 真理値表

PWM1	PWM2	PWM3
1	1	0
1	0	1
0	1	1
0	0	0

5. 実験及び結果

5.1 合成信号の作成

本研究で提案した回路を用いて、二つのPWMの合成信号を作成する実験を行った。モーター回転制御用PWM1はduty比50%,周波数10kHzとし、モーター音制御用PWM2はduty比50%,周波数1kHz~20kHzに設定する。PWM1を10kHz,PWM2を15kHzとしてSimulinkで作成した合成信号PWM3をFig.3に、実際にオシロスコープで測った信号をFig.4に示す。

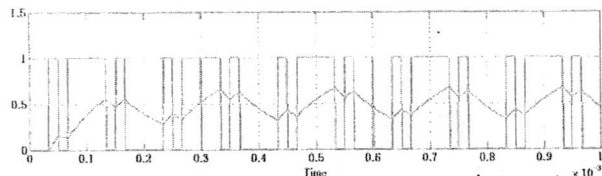


Fig. 3 Simulinkで作成した合成信号

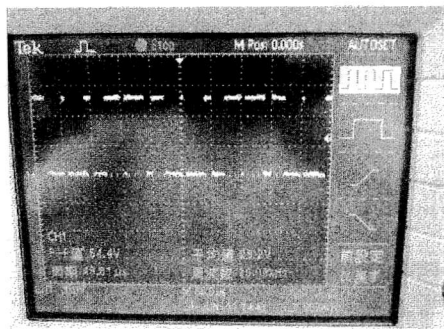


Fig. 4 作成した合成信号

5.2 モーター騒音の変化

本研究で作成した合成信号を用いて、モーターから発生する騒音の変化を調べる実験を行った。モーターには小型の直流モーターを用いた。Table 1 にモーターの仕様を示す。

Table 2 モーターの仕様

定格	7.4W
定格回転数	3600rpm
エンコーダ付	

PWM1はduty比50%,周波数10kHzとし,PWM2はduty比50%,周波数は1kHz~20kHzまで1kHzごとに周波数を変えいく。モーターから発せられる音をマイクロフォンによって電気信号に変換し,そのデータをPCに取り込む。これをFFT解析することで,発生した騒音の周波数特性を比較する。PWM2の各周波数でのモーター音の周波数をグラフにまとめた。グラフをFig.5に示す。

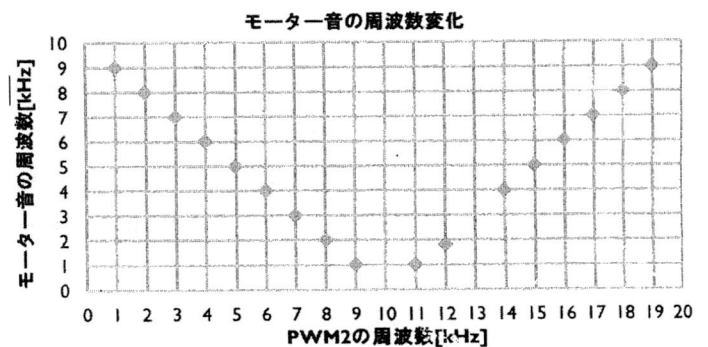


Fig. 5 実験結果

4kHz~6kHzの音をモーターから回転音に加えて出すことができた。PWM2が1~9kHzの時はモーター音の周波数が線形に下がっていったが,11~20kHzの時はモーター音の周波数は線形に上がっていった。モーター音制御用PWMの周波数によってはモーター音の周波数にばらつきがあった。

6. 今後の課題

実験データからどの周波数でどの音程の音が出るのかを確認してリズムを取ったり,曲を奏でられるようにする。また,より実用的にできるようエンコーダからのフィードバックにより回転数を変えずに音を出せるようにする。

参考文献

- [1] 戸井武司,加藤英介: 音響加振力を用いた高速回転体の騒音予測と音質改善, 日本音響学会誌, 56巻6号 pp.437-333(2000)
- [2] 戸井武司,加藤英介: 高速回転体より生じる回転騒音の予測と低減, 日本音響学会誌 56巻10号 pp.705-712(2008)
- [3] 鈴木浩明: 快適さを測る, 日本出版サービス pp23-33(2002)

RoboCup シミュレータを用いた戦略の一提案

平田 桂士

大久保 友幸

小林 一行

Keishi Hirata

Tomoyuki Ohkubo

Kazuyuki Kobayashi

法政大学大学院工学研究科システム工学専攻

Graduate School of Engineering, Hosei University

概要: サッカーの戦術は数多く研究されている。本研究は、サッカーにおいて最も重要な要素の一つである、ボールのキープ率に着目し、ボールキープ率向上を重視した戦術の提案をするものである。使用する環境は RoboCup シミュレータ(2D)という PC 上で動くサッカーのシミュレーション環境を用いる。エージェントと呼ばれる各選手の能力は全て同じに設定し、戦略の良し悪しを導く。提案した3種のフォーメーションで実験し、目的であるボールキープ率の向上を獲得した。

1. はじめに

サッカーは、協調動作を主として用いる代表的なスポーツの一つである。そのため、サッカーエージェントによるマルチエージェントシステムについては、多くの研究がなされている。

本研究は、RoboCup シミュレータを用いたマルチエージェントシステムから、RoboCup のサッカー競技と同時に、現実のサッカーに効果的な戦術を提案するものである。

2. RoboCup シミュレータについて

2.1 RoboCup とは

1992年に発足した、サッカーの競技会である。RoboCupの目標が、「2050年までに、人間の FIFA World Cup の優勝チームに勝てる自律移動のヒューマノイドロボットを完成させる」ことである。RoboCup のサッカー競技は、大きく分けると2つあり、

- ・PCの仮想フィールド上で、プログラム同士で競うシミュレーションリーグ
- ・小型のフィールド上で、実機で競うリーグ

2.2 RoboCup シミュレータの概要

RoboCup シミュレータは2.1のシミュレーションリーグ(2D)で実際に使用されている仕様のものを使用する。RoboCup シミュレータには3つのセンサモデルが用いられている。

聴覚センサ…審判や他のエージェントからメッセージを検出

視覚センサ…エージェントの視界に入っている物体への距離と方向と速さ情報の検出

Body センサ…エージェントのスタミナの検出

各センサからの情報を人工知能分野でいわれる S 式と呼ばれる形式で取得する。

2.3 RoboCup シミュレータの仕組み

通信プロトコルは、「UDP」を使用する。Soccer Window を IP アドレス「127.0.0.1」で、Soccer Server に接続する。Soccer Client は Soccer Server に [localhost,6000] で接続。(図1)

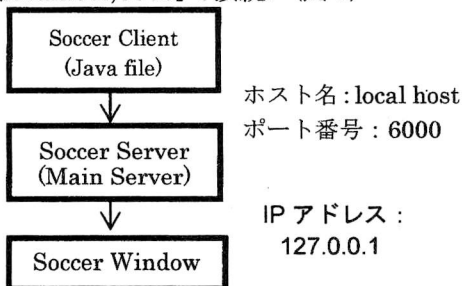


図1: RoboCup シミュレータの概要

3. 戦術の提案について

3.1 重視するポイント

提案する戦術はボールキープ率の向上を重視する。ボールキープ率を上げるためには、パスの成功率を上げる事が重要である。

3.2 パスを主体としたフォーメーション

パスの成功率を上げるには、パスの選択肢を増やし、距離の短いパスができる事が重要である。平面のサッカーフィールドでは前述の様なパスが有効である。平面のサッカーフィールドに近いパスを多く取り入れている、現実のサッカーチームは、スペインやバルセロナが代表的なチームである。このようなチームの多く使うフォーメーションが[4-3-3]である。([4-3-3])とは、[ディフェンス(後方)-ミッドフィールダー(中盤)-フォワード(先頭)]の人数を指します。(図2)

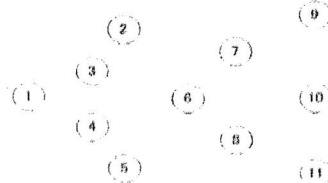


図2: 4-3-3のフォーメーション

特徴…全体的に選手が配置しているため、攻守ともにバランスが良い。

オフenseでのパス選択肢が2~5人

3.3 フォーメーションの提案

提案するフォーメーションは、3.2の図2のフォーメーションよりパスの選択肢を増やし、エージェント同士の距離を短くし、より確実性のあるパスが行えると思われる円型のフォーメーションを提案する。円の中心に1人配置し、中心のエージェントを加えた8人(2-8)、7人(3-7)、6人(4-6)でつくった円型フォーメーションを以下に示す。

(1) 8人 (2-8)

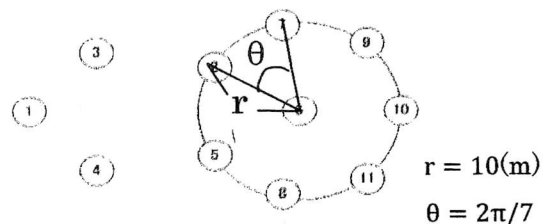


図3: 2-8のフォーメーション

利点… 円内でのパス選択肢が多い(5~7人)
円内にいる敵を囲う事ができる
欠点… 守備陣が少ないため、守備力が低くなる
円外にいるボールに対してのフォローが遅れる

(2) 7人(3-7)

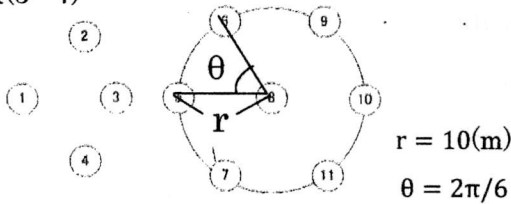


図4: 3-7のフォーメーション
利点… 円内でのパス選択肢が多い(5~6人).
円内にいる敵を囲う事ができる.
欠点… 守備陣が少ないため、守備力が低くなる.
円外にいるボールに対してのフォローが遅れる.

(3) 6人(4-6)

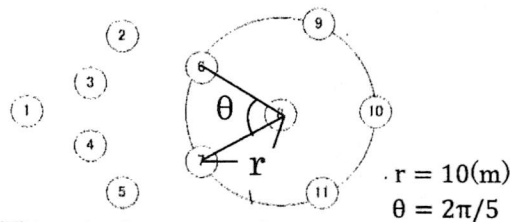


図5: 4-6のフォーメーション
利点… 円内でのパス選択肢が多い(3~5人).
円内にいる敵を囲う事ができる
欠点… 守備陣が少ないため、守備力が低くなる.
円外にいるボールに対してのフォローが遅れる

円には均等にエージェントを配置する。(1), (2), (3)の円型フォーメーションの各エージェント達は半径r, エージェントとのなす角thetaから導いた座標に配置する.

4. 実験

4.1 実験の目的と指針

円型フォーメーションでのパスワークに期待し、[4-3-3]フォーメーションより全体のボールキープ率が上がり円型フォーメーションの有効性を評価する.

4.2 実験方法

円のフォーメーションを実装したチーム対非実装(4-3-3)チームを(1), (2), (3)で各3試合ずつ行い、実験結果を検証し考察する。(尚、実装チーム、と非実装チームの全てのエージェントの能力は同じである.)

4.3 実験結果

ボールキープ率, 得点の結果を以下に示す.(ボールキープ率…全体のエージェントがボールに触れた回数と各チームのボールに触れた回数の割合によって導くものとする.)

(1) 8人(2-8)

表1: 8人のキープ率, 得点結果

	ボールキープ率(%)		得点(点)	
	実装	非実装	実装	非実装
1回目	58.7	41.3	1	0
2回目	55.1	44.9	0	0
3回目	50.6	49.7	1	2

(2) 7人(3-7)

表2: 7人のキープ率, 得点結果

	ボールキープ率(%)		得点(点)	
	実装	非実装	実装	非実装
1回目	58.1	41.9	0	1
2回目	51.3	48.7	0	0
3回目	55.3	44.7	2	1

(3) 6人(4-6)

表3: 6人のキープ率, 得点結果

	ボールキープ率(%)		得点(点)	
	実装	非実装	実装	非実装
1回目	51.1	48.9	0	3
2回目	58.0	42.0	1	0
3回目	54.5	45.5	0	0

(1), (2), (3)の結果を平均した表を以下に示す.

表4: 実験結果の平均値

	ボールキープ率(%)		得点(点)	
	実装	非実装	実装	非実装
8人(2-8)	54.8	45.3	0.67	0.67
7人(3-7)	54.9	45.1	0.67	0.67
6人(4-6)	54.5	45.5	0.33	1.00

4.4 考察

全ての試合において円型フォーメーションを実装したチームのボールキープ率が50%を越えている. 円に属しているエージェントは視野内に多くのエージェントが居るため、パスの選択肢が多い. その中から最適なパスを選んでいるためパスの成功率が上がりボールキープ率が高くなったと考える.

平均のボールキープ率では、フォーメーションの種類に顕著な差は出なかった. パスのプログラムが甘く、パスミスも多くみられた. プログラムに改善が必要である.

実装チームが失点した時の傾向として、円型のフォーメーションからボールが外れた時に攻め込まれるというパターンが多くみられた.

5. 終わりに

円型フォーメーションを実装するで、目的であったボールキープ率を上げる事ができた. これは、円でのパスワークの成功率が高かったからだといえる. 実験では、得点に結び付かなかった事も多いがボールキープ率はサッカーにおいて最も重要な項目の一つである. 実験数を増やし、あらゆる戦略に対しての傾向をみる必要がある.

6. 参考文献

- [1] 大島 真樹
JavaでつくるRoboCupサッカー選手プログラム, 森北出版株式会社
- [2] RoboCup
<http://www.robocup.org>
- [3] The RoboCup Soccer Window:
<http://www.sourceforge.jp/projects/rctools/>.
- [4] 川島 隆
Javaオブジェクト指向編 秀和システム
連絡先

平田桂士
法政大学大学院工学研究科システム工学専攻
〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2
E-mail: keishi.hirata.5v@stu.hosei.ac.jp

3 軸磁気・加速度センサを用いた歩行解析システムの開発

A STUDY ON GAIT ANALYSIS BY MEASURING AXIS ROTATION BASED ON 3D MAGNETIC AND ACCELERATION SENSORS

南 明
Akira Minami

大久保 友幸
Tomoyuki Ohkubo

小林 一行
Kazuyuki Kobayashi

法政大学大学院工学研究科システム工学専攻
Graduate School of Engineering, Hosei University

Abstract : Human gait analysis has been an active research topic for many years. Most gait studies are classified into two groups. One is the vision-based approach that generally uses a video camera. The other is the wearable-sensor approach that typically uses acceleration and/or gyro sensors. In this paper, we introduce a new wearable-sensor-based gait analysis method using a combination of 3D acceleration and magnetic sensors that make it possible to measure 3D arbitrary-axis rotation. To confirm the accuracy of measurement in 3D arbitrary-axis rotation, we measured the behavior of the thigh angle while applying various forms of walking. The validity of the proposed approach was confirmed by applying a newly built sensor system.

1. はじめに

歩行は人間の基本運動であり、健康維持に重要な運動である。特に近年では中高年層において健康増進意識に基づく行動として幅広く行われている。しかし、歩行を行う中で関節痛や筋肉痛を訴える歩行者も少なからず目にすることも事実である^[1]。歩行による傷害発生の要因として、内旋歩行(内また歩き)や外旋歩行(かに股歩き)などの特殊な歩行や歩行が規則正しい周期で行われないことによる足への過負荷が挙げられる。

歩行に関する研究は今日まで非常に幅広いアプローチで分析、および解析が行われてきた^[2]。従来の歩行計測では、ジャイロセンサと加速度センサのコンビネーションセンサを使用し、分析を行う方法^[2]や、画像処理から行われる方法^[3]など、が提案されている。しかし、前者は脚の情報だけに重点を置いているものが多く、内旋、外旋などの歩行時の特徴にはあまり着目されてこなかった。後者には体全体の動きを捉えたりするものが多いが、装置が大掛かりになってしまうため、測定できる範囲、環境に限界があるといった問題が存在する。

本研究では、上記の問題を解消するため、3 軸磁気、加速度センサを用いた計測システムを提案する。歩行時にベースとなる股関節の動きを計測することにより、手軽で直感的に解釈しやすい新しい歩行分析を行い、歩行の特徴を抽出することを目的とする。

2. 股関節と歩行の関係性

歩行において股関節は体幹の動きとも連動性があり^[4]、また脚の動きの影響も現れる非常に重要な部分である。

股関節は腸骨と大腿骨からなる球関節であり、大腿骨にある大腿骨頭と腸骨にある寛骨臼が連結した構造となっている。中でも大腿骨頭は骨盤で生じた回転を大腿骨に伝える役割があり股関節の動きは主に大腿骨頭の動きであると言える。

本研究では大腿骨頭の延長上である脚の付け根部分にセンサを設置し、大腿骨頭の動きを計測することを目的とする。

大腿骨頭は球関節であるため、歩行時の回転軸の動きは、1 軸とは限らない。一般に、ジャイロセンサなどは、固定軸での回転をベースとしており、球関節である大腿骨頭の動きを計測するには、適さない。

そこで本研究では球関節である大腿骨頭の動きを計測するために、2 つのセンサ、3 軸磁気、加速度センサを用いる。それぞれ地磁気方向センサ、重力方向センサとして用い、それらの出力の変化から回転軸を求め、その動きから大腿骨頭の動きを計測する。また左右の脚に設置したセンサの出力から歩行の周期を計測する。

股関節の構造を Fig.1 に、センサの設置図を Fig.2 にそれぞれ示す。

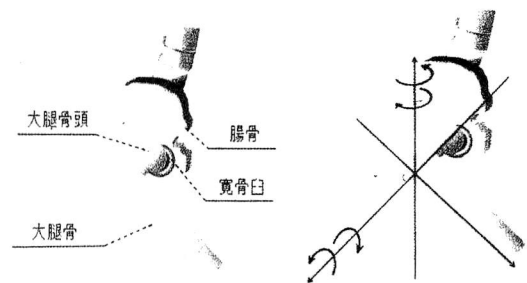


Fig.1 股関節の構造

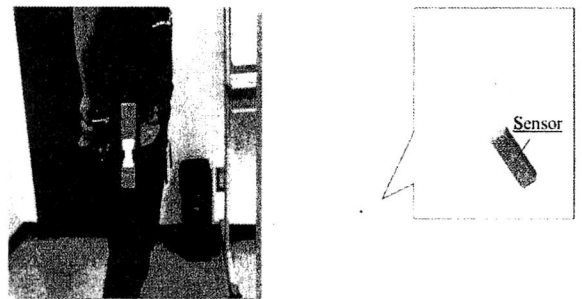


Fig.2 センサの設置図

3. 仮定と問題の記述

3.1. 仮定の記述

本研究を進めるにあたり,以下の仮定を設ける.

(A1)歩行の特徴を明確にするため,実験環境は整備された屋内であるとする.

(A2)被験者は健常者であり,歩行に特徴のある障害等は抱えていないものとする.

3.2. 問題の記述

歩行に伴う,大腿骨頭の動きを計測する.その際,以下の点が問題となる.

(P1) 計測システムに用いる磁気センサをどのようにキャリブレーションするのか.

(P2) 大腿骨頭の動きを計測するためどの位置にセンサを固定すればよいのか.

(P3) どのようにしてポータブルな計測システムを実現するか.

4. 問題解決へのアプローチ

4.1. 磁気のカリブレーション

問題(P1)について検討する. 高感度な磁気センサを用いる場合,地磁気の影響はもちろんのこと環境磁場の影響も無視できない.そこで周辺磁気データを取得し,それを球状に補正するオフセットと倍率を求め,補正を行う.

$$\frac{(m_x - m_{x0})^2}{a^2} + \frac{(m_y - m_{y0})^2}{b^2} + \frac{(m_z - m_{z0})^2}{c^2} = R^2 \quad (1)$$

ここで m_x, m_y, m_z は事前に取得した周辺磁気データ, m_{x0}, m_{y0}, m_{z0} はオフセット, a^2, b^2, c^2 は倍率, R は球の半径であるとする.(1)式を変形し(2)式を求める.

$$m_x^2 = [m_x \quad m_y \quad m_z \quad -m_y^2 \quad -m_z^2 \quad 1] \begin{bmatrix} 2m_{x0} \\ \frac{a^2}{b^2} 2m_{y0} \\ \frac{a^2}{c^2} 2m_{z0} \\ \frac{a^2}{b^2} \\ \frac{a^2}{c^2} \\ a^2 R^2 - m_{x0}^2 - \frac{a^2}{b^2} m_{y0}^2 - \frac{a^2}{c^2} m_{z0}^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

(2)式を(3)式と変換し,最小二乗法を用いて X を求める.

$$\omega = H \cdot X \quad (3)$$

$$X = [H^T H]^{-1} H^T \omega \quad (4)$$

(4)式で求めた X から $m_{x0}, m_{y0}, m_{z0}, a^2, b^2, c^2$ を求める.Fig.3 にキャリブレーション結果を示す.キャリブレーション後のほうが球状に近い出力になっていることがわかる.

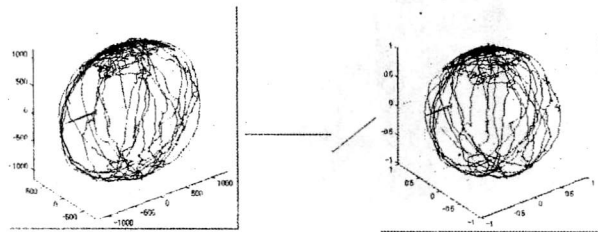


Fig.3 磁気センサのキャリブレーション結果
(左:補正前,右:補正後)

4.2. 回転軸の計測原理

Fig.4 に提案する計測システムを示す.

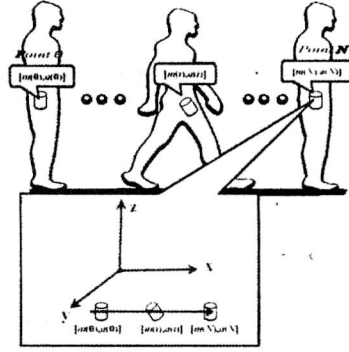


Fig.4 提案する計測システム

問題(P2)について検討する.

使用するセンサは,3軸加速度センサ,および,3軸磁気センサであり,ここでは,地点0に配置されているものとする.これらのセンサは,同時に動き,姿勢の変化に伴い,これら3軸ベクトルの方向は変化する.

磁気センサの3軸ベクトルを

$$m(i) = [m_x(i), m_y(i), m_z(i)]^T \quad (i = 0, 1, \dots, N)$$

加速度センサの3軸ベクトルを

$$a(i) = [a_x(i), a_y(i), a_z(i)]^T \quad (i = 0, 1, \dots, N)$$

とそれぞれ定義する.ここで i はサンプリング数を表す.なお,ここで $m(i)$ には(1)式の補正が行われている.

地点0と地点 N の間には回転行列 R_{0N} を介し

$$[m(N) \quad a(N)] = R_{0N} [m(0) \quad a(0)] \quad (5)$$

が成り立つ.回転行列 R_{0N} は特異値分解により,

$$R_{0N} = U \Sigma V \quad (6)$$

として計算できる.

ただし U, V は,それぞれ左直交行列と右直交行列で, $\Sigma = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3), \sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ の特異値対角行列である.このとき回転角度行列は,回転軸の方向をどちらにとるかににより変わり,

$$R_a = \begin{cases} UV^T & \text{if } \det(UV^T) = 1 \\ U \text{diag}(1, 1, -1) V^T & \text{if } \det(UV^T) = -1 \end{cases} \quad (7)$$

が成り立つ.ここで R_{0N} から得られる回転軸ベクトルを

$$u = [u_x \quad u_y \quad u_z]^T \text{ と定義すると,}$$

$$R_{0N} = \exp(u \times \theta) \quad (8)$$

として計算できる.

この回転軸ベクトル $u = [u_x \quad u_y \quad u_z]^T$ を大腿骨頭の回転軸として定義する.

5. センサシステム

5.1. センサ構成

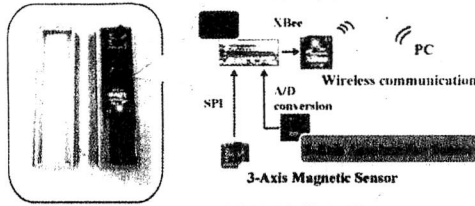


Fig.5 センサ構成

Table1 センサ性能

	磁気センサ	加速度センサ
分解能(bit)	11	13
通信速度(bps)	19200	
動作電圧(V)	3.3(単4電池2本)	
サンプルレート(Hz)	10	

Fig.5に製作したセンサの構成Table1にセンサの性能をそれぞれ示す。

3軸磁気,加速度センサから測定した値はPSoCマイコンでの処理を介し,無線通信によりPCに入力し,処理される。センサのサンプルレートは10Hzとなっている。また,実際にセンサを製作するにあたり,センサの固定,使用者の使いやすさ向上のため,3D-CADと3D-PLOTTERを用いてケースを製作した。素材には磁気による影響を考慮してケミカルウッドを使用した。

5.2. ユーザーインターフェースの改善

問題(P3)について検討する。

5.2.1. 無線方式

歩行解析を容易に行うため,無線通信,電池動作を勘案しデザインした。無線には,IEEE802.15.4規格の無線通信機能とマイコンを搭載した小型モジュールXbeeを採用した。この方式は,低消費電力のわりに比較的通信速度が速い特徴を有す。

5.2.2. センサケース

センサの固定,使用者の使いやすさ向上のため,3D-CADと3D-PLOTTERを用いてケースを製作した。素材には磁気による影響を考慮してケミカルウッドを使用した。また,計測の簡易さを考慮して,プラスチックケースも制作した。

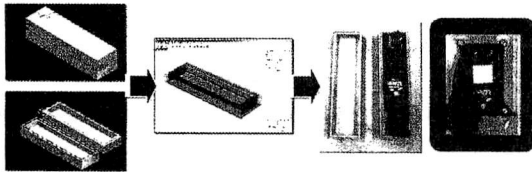


Fig.6 製作したセンサケース

6. 実験

6.1. 実験目的

本研究では,歩行者の大腿骨頭の動きから歩行の特徴を抽出することを目的とする。目的を達成するために,実験では以下の3つの目的を設けた。

- E1. 開発したシステムの有用性を評価し,回転軸の抽出ができるか判断する。
 - E2. 開発システムの再現性を確認する。
 - E3. 歩行の特徴を判別する。
- これらの目的を実験により達成する。

6.2. 実験方法

実験環境は,磁気の少ない平坦な道と仮定する。実験準

備として以下の作業を実験ごとに行う。

- A1. (1)-(4)式を用いて周辺磁気のキャリブレーション
- A2. 制作したセンサを右足に固定する
- A3. (5)式における初期位置を設定する

以上の準備を行い,実験目的を評価するため,3つの実験を行う。

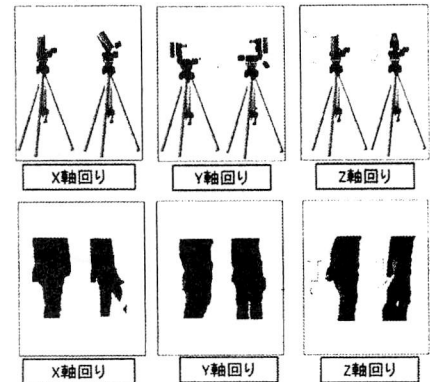


Fig.6 モデル・人間それぞれの実験動作の図

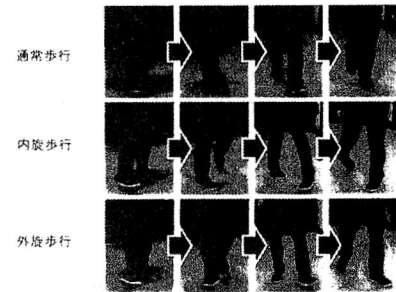


Fig.7 歩行のパターン

- E1. (8)式を用いた回転軸の計測法を利用し,回転モデルを用いて回転軸の評価モデルを製作する。なお,Fig.6上段にモデルの動作を示す。
- E2. 評価モデルと同様の動きを人で行い,回転軸の再現性を確認する。Fig.6の下段に動作を示す。
- E3. Fig.7に示す,通常歩行,内旋(内また)歩行,外旋(外また)歩行を行う。得られたデータを評価モデルと比較して,歩行の特徴を判別する。

6.3. 実験結果

Fig.8に回転軸の表示例を示す。以下Fig.9-17の結果において回転軸の表示は,右上から時計回りにZ軸周り, X軸周り, Y軸周りとする。また以下Fig.9-17は左側に回転軸を点で,右側に軸で表記している。

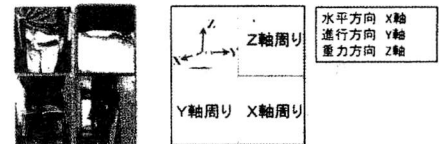


Fig.8 回転軸の表示例

E1の実験結果を以下Fig.9-11に示す。

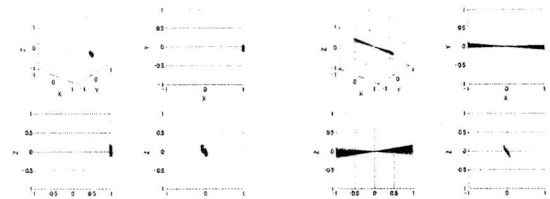


Fig.9 X軸周りの回転軸

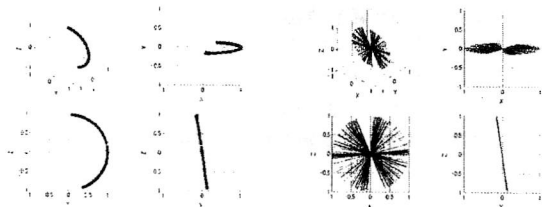


Fig.10 Y 軸周りの回転軸

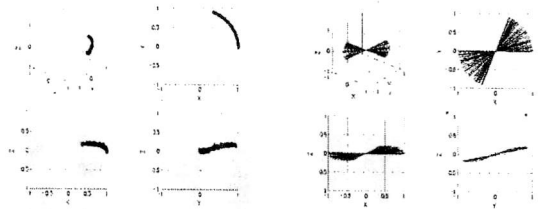


Fig.11 Z 軸周りの回転軸

初期位置を X 軸周りの回転軸で設定しているため、X 軸周りの回転軸は変化しない。Fig.9 に明確に表されている。また Fig.10, Fig.11 では Y 軸、Z 軸周りで弧を描くように回転軸が抽出された。以上のことから理論通りの結果を得ることができたと考察する。

E2.の実験結果を以下 Fig.12-14 に示す。

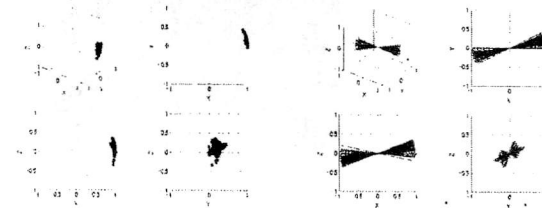


Fig.12 X 軸周りの回転軸

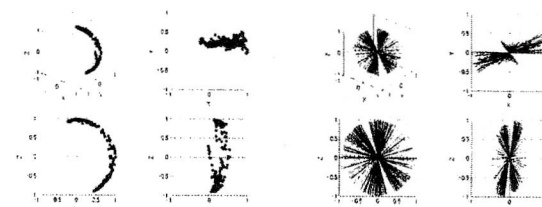


Fig.13 Y 軸周りの回転軸

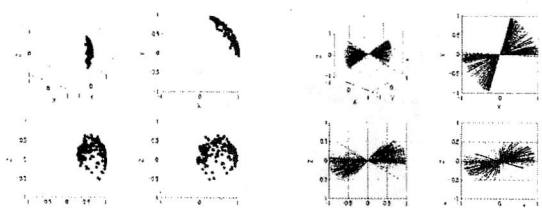


Fig.14 Z 軸周りの回転軸

Fig.9 と Fig.12, Fig.10 と Fig.13, では、多少ブレはあるものの、3次元回転モデルを用いた結果とほぼ等しい回転軸が計測された。また Fig.14 において、Fig.11 と比べ、X, Y 軸周りでブレが計測された。Z 軸周りの計測は片足で行うため、バランスをとるために行った重心移動が計測されたと考えられる。しかし、Z 軸周りの回転軸は、弧を描くように計測されているため、本システムの再現性はあると考えるだけの結果が得られた。

E3.の実験結果を以下 Fig.15-17 に示す。

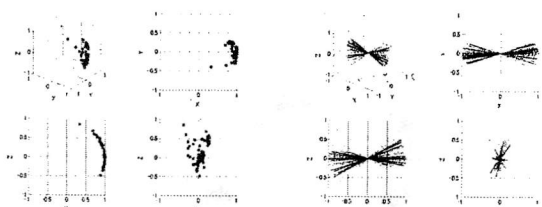


Fig.15 通常歩行時の回転軸

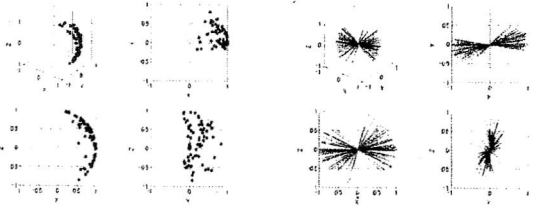


Fig.16 外旋歩行時の回転軸

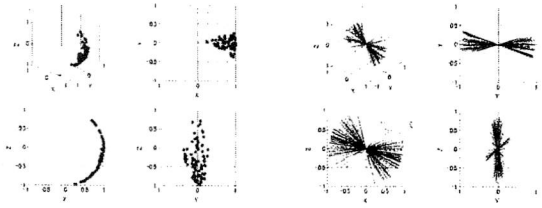


Fig.17 内旋歩行時の回転軸

Fig.15 の通常歩行に比べ、外・内旋歩行では、X 軸周りの回転軸において上下に分散されていることがわかる。

Fig.13 の Y 軸周りの回転軸が 2 極で集中していることを踏まえると、外旋歩行時には、Y 軸周りの回転軸が Z 軸+に集中し、内旋歩行時には、Z 軸-方向に集中することが考察できる。以上のことから、特徴判別は可能であると考えられる。

7. おわりに

本研究では、3 軸磁気・加速度センサを用いた、回転軸計測による歩行解析システムの開発を行い、開発したシステムの有用性を評価した。3 次元回転モデルを用いた回転軸の計測から、回転軸の評価モデルを製作し、センサの有用性を確認した。同様の動作を人間で行い、再現性も確認した。また、製作した評価モデルを元に歩行の特徴を抽出することに成功した。今回は、被験者数 1 人での計測であるため、今後は人数を増やし、歩行解析を行いたいと思う。

参考文献

- [1] 波多野義郎: 健康ウォーキングの科学, 不昧堂出版
- [2] 花若増生, 沢村昌治, 藤本直之, 佐藤明: 歩行計測システムとその応用, 横河技報, Vol.51, pp.21-24, 2007
- [3] 関根正樹, 田村俊世, 戸川達男, 福井康裕: 加速度センサを用いた高齢者の歩行評価, 第 14 回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp.192-198, 1999
- [4] 安部正人, 増田和也, 古川進, 向井伸治: 歩行分析システムの開発, 精密工学会誌, Vol.74, pp.1318-1324, 2008
- [5] 西守隆, 伊藤章: 歩行と走行の移動速度変化における骨盤と体幹回旋運動の相互相関分析, 理学療法学, 第 33 巻第 6 号, pp.318-323, 2006

連絡先:

南明

〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2

法政大学工学研究科システム工学専攻小林一行研究室

TEL: 042-387-6260 FAX: 042-387-6381

E-mail: akira_minami@mail.ikko-lab.k.hosei.ac.jp

旋回クレーンにおける残留振れと運搬時間の関係に関する研究

A study of relationship between transport time and residual deflection in the rotary crane

○¹井上 晃誓 ²澁谷 長史 ³安信 誠二
○¹Kousei Inoue, ²Takesi Shibuya, ³Seiji Yasunobu

筑波大学大学院 システム情報工学研究科

University of Tsukuba, Graduate School of Systems and Information Engineering

Abstract: A rotary crane enables us to carry a heavy luggage to any position. However, load swing often occur when we carry a load to specified position with a rotary crane. Because this load swing causes many problems, we want to carry a load without load swing. Today, some studies have been conducted to solve this problem, but any studies don't reveal why load swing occur. So, this paper reveals a relationship between transport time and residual deflection in the rotary crane.

1 初めに

旋回クレーンとは、boomの旋回、起伏、そしてロープの伸縮の3種の動作により、吊り荷を任意の地点に運搬することができる荷役機械の一種である。任意の地点に運搬が可能であること、機構が単純であるがゆえに運搬可能な最大荷重が大きいことなどから、建設現場をはじめ様々な場所で使われている。

しかし、旋回クレーンは、荷をロープによって吊り下ろしているという機構上、旋回のトルクが荷に伝わりやすく、風などの外乱に弱い。そして、吊り荷の振れが二次元的な振れであるという特徴がある。また、単純に旋回搬送を行うと、旋回の加減速や、旋回によって荷にかかる遠心力などによって、円、もしくは楕円状の残留振れを発生させてしまうという欠点がある。残留触れが発生すると、吊り荷の重量次第では事故の元となるし、所定の位置に吊り荷を下ろせない。そこで、残留振れを抑えた荷の旋回搬送を実現すべく、様々な研究が行われている。例えば、日野らによる研究[4]は、非線形システムである旋回クレーンを、代数運動方程式を用いた直接最適制御によって制御することを提案している。また、近藤らによる研究[5]は、2種類のフィードバック則を途中で切り替える事により残留振れをアクティブに抑えた制御を実現することを試みている。他にも、中園らによる研究[6]では、ニューラルネットワークを用いたGA最適化により、残留触れの少ない旋回搬送の加減速の大きさとタイミングを学習によって得ることで、残留触れの少ない制御を実現することを試みている。

だが、多くの研究成果があるにもかかわらず、旋回

クレーンの動特性の解析は未だ検証されていない。本研究では、先行研究[1]が荷振れの旋回方向成分と旋回加速度の関係を明らかにしたことを前提とし、boomの旋回と運搬時間、および荷振れの半径方向成分との関係を明らかにすることを目的とする。旋回クレーンの動特性について深い知見を得ることで、より旋回クレーンシステムに適合した制御器を設計するための足がかりとなることを期待する。

2 旋回クレーンのダイナミクス

旋回動作を行うクレーンの振り子系は、ロープ支点の運動が円弧上の軌跡を描く。ゆえに、ロープ支点の運動が直線状の軌跡を描く天井走行クレーンやコンテナクレーンなどとは異なり、吊り荷の振れは、球面振り子として、あるいは振れ幅が充分小さい時は円錐振り子としてモデリングする必要がある。よって、運動方程式の導出および制御問題としての定式化を行うため、[3]による簡略化した数学モデルを用いる。

クレーン本体（ブーム）、ロープを質量0の剛体とし、吊り荷および、ロープ下端のフックを質点として取り扱う。このような仮定の元でモデル化した旋回クレーンを図1に示し、用いた記号を表1に示す。

2.1 運動方程式

モデル化した旋回クレーンにおける、吊り荷の運動方程式を導出する。質点に働く力の成分は、重力とロープからの張力である。ロープにかかる張力を f 重力加速度を g とすると、次のように、吊り荷の運動方程式が立てられる。

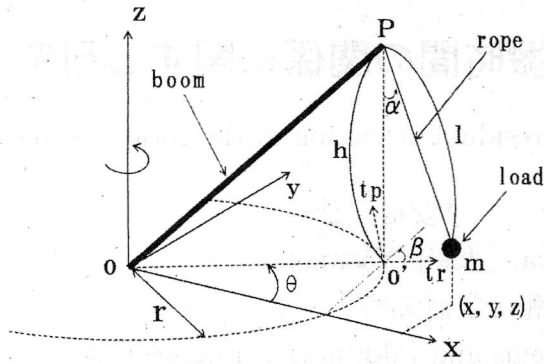


図 1: 旋回クレーンモデル

表 1: モデルパラメータ

O	: ブーム支点 (旋回中心)
P	: ロープ支点
Q	: 質点の絶対座標系
Q'	: 質点の相対座標系 (Q' 座標系)
l	: ロープ長
m	: 吊り荷の質量
r	: ブームの旋回半径
h	: ロープ支点の高さ
θ	: ブームの旋回角度
α	: 吊り荷の進み角
β	: 吊り荷の振りあがり角
f	: ロープに働く張力
g	: 重力加速度

$$m\ddot{x} = -f \cdot \sin \beta \cdot \cos(\theta + \alpha) \quad (1)$$

$$m\ddot{y} = -f \cdot \sin \beta \cdot \sin(\theta + \alpha) \quad (2)$$

$$m\ddot{z} = -mg + f \cdot \cos \beta \quad (3)$$

また、各座標と角度の間には次のような関係がある。

$$x = r \cdot \cos \theta + l \cdot \sin \beta \cos(\theta + \alpha) \quad (4)$$

$$y = r \cdot \sin \theta + l \cdot \sin \beta \sin(\theta + \alpha) \quad (5)$$

$$z = h - r \cdot \cos \beta \quad (6)$$

振れが小さい時、すなわち、 $\beta \ll 1$ であるとき、 $\cos \beta \approx 1$ と線形近似できる。また、クレーンの運動を旋回動作に限るとき、 h, l が一定であると考えてよいので、式 (6) から、 $\dot{z} \approx 0$ とみなせる。従って、式 (3) より、 $f \approx mg$ となる。式 (1)、(2)、(4)、(5) から次の 3 式が求まる。

$$\ddot{x} = -\frac{g}{l}(x - r \cdot \cos \theta) \quad (7)$$

$$\ddot{y} = -\frac{g}{l}(y - r \cdot \sin \theta) \quad (8)$$

$$\ddot{\theta} = Ku \quad (9)$$

ここで、 K はブームの質量と慣性モーメントを含む定数、 u は操作量である。

以上により、式 (7)、式 (8) が旋回クレーンの吊り荷の運動を、式 (9) が旋回動作を記述する方程式である。

ここで、吊り荷の運動だけをみる時、絶対座標系である O 座標系における吊り荷の位置 (x, y, z) に着目するより、 O' 座標系における吊り荷の運動を考えたほうが直観的で理解が容易である。以後、 O' 座標系における吊り荷の位置座標 (tp, tr) を観測対象とする。すなわち、 tp は荷振れの旋回方向成分、 tr は荷振れの半径方向成分をそれぞれ示す。 (tp, tr) と (x, y, z) の間には次のような関係がある。

$$tp = -(x - r \cdot \cos \theta) \cdot \sin \theta + (y - r \cdot \sin \theta) \cdot \cos \theta \quad (10)$$

$$tr = (x - r \cdot \cos \theta) \cdot \cos \theta + (y - r \cdot \sin \theta) \cdot \sin \theta \quad (11)$$

3 動特性の検証

boom が一定角速度で旋回している状態では、遠心力により吊り荷の振れの中心が半径方向にずれる以外、吊り荷の運動に変化がない。一方で、吊り荷は固有周期 $T_{org} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ で振れるので、boom の旋回に要する時間、すなわち、運搬時間と、半径方向の残留振れに相関が見られると予想した。

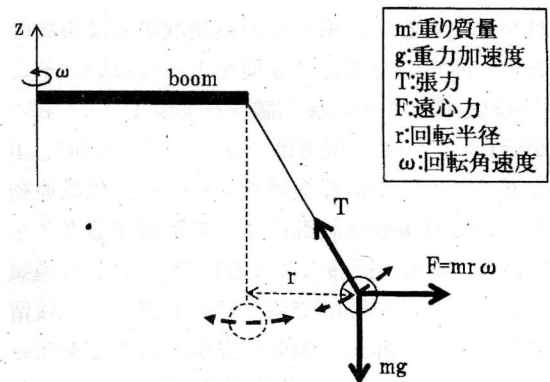


図 2: 吊り荷の振れの中心の移動

そこで、本研究では、時間と共に変化する遠心力が荷に加わる、boom の加速時、及び減速時の時間を極力少なくしたいこと、運搬時間と吊り荷の残留振れの

半径方向成分について注目したいことから、先行研究 [1] で論ぜられた、接線方向成分の残留振れを抑制する角速度パターンを利用することにした。

[1] において考案されたパターンは、吊り荷が固有周期 T_{org} で振れることと、boom の角加速度と接線方向成分の荷振れの位相平面図における関係を利用したもので、接線方向の振れの抑制が boom の旋回角加速度に依存することを端的に示すものでもある。

[1] によるパターンは目標旋回角 θ_T を与えると、次のような式から導き出され、図 3 のようなパターンを発生させる。

$$T_1 = T_3 = T_4 = T_6 = \frac{T}{6} \quad (12)$$

$$T_2 = T_5 = \frac{T}{3} - T_\alpha \quad (13)$$

$$T_m = \left(n + \frac{\pi + \theta_T}{2\pi}\right)T \quad (14)$$

$$\omega_{max} = \frac{\theta_T}{T_m + T_1 + T_2 + T_3} \quad (15)$$

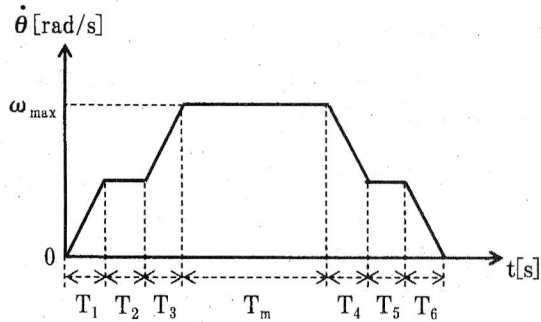


図 3: 角加速度パターン

このパターンにおける一定角速度を与える時間領域 T_m は、[1] において、式 14 から与えられるとしているが、同時に、半径方向の振れを大きくしないように適当に定めるとも述べており、半径方向の残留振れについて考慮しないのならば任意に与えても良い。本研究では T_m を任意に変化させることで、運搬時間と残留振れの関係について解析する。

4 シミュレーション実験

計算機によるシミュレーション実験によって解析を行った。シミュレーションパラメータは表 2 に示す。また、シミュレーションの様子を図 4 に示す。boom の目標旋回角度は 60° とした。

ここで、残留振れの評価については、角速度パターン入力終了直後から 1 固有周期分の時間内における、

表 2: シミュレーションパラメータ

M	: 0.1 [kg]	ロープ質量
l	: 0.5 [m]	ロープ長
m	: 0.3 [kg]	吊り荷の質量
r	: 0.35 [m]	ブームの旋回半径
g	: -9.81 [kg/s ²]	重力加速度

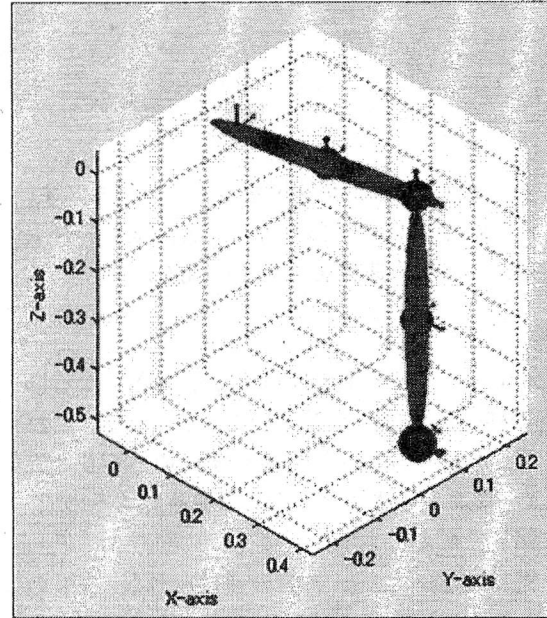


図 4: シミュレーションの様子

半径方向の残留振れの最大値とした。この時、一定加速度を与える時間領域 T_m と総制御時間 $T = T_1 + T_2 + T_3 + T_m + T_4 + T_5 + T_6$ 、及び T_m と吊り荷の残留振れの半径方向成分 tr の関係を示すグラフは次のようになった。

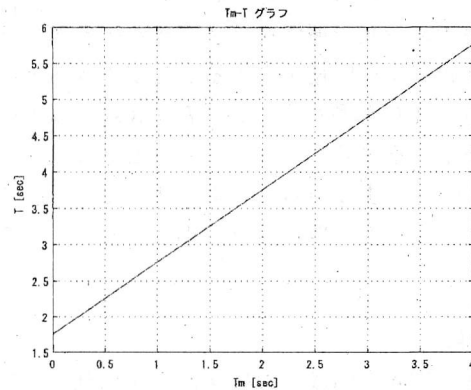


図 5: T_m - T の関係

図 5 の縦軸 T は角速度パターンの総時間、すなわち

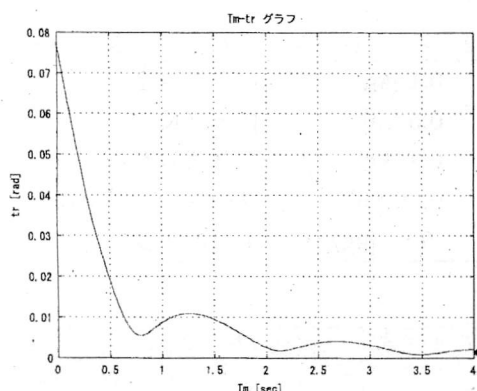


図 6: T_m - t_r の関係

運搬時間を、横軸 T_m は定角速度を与える時間を示す。一方、図 6 の縦軸 t_r は残留振れの半径方向成分の最大値を、横軸 T_m は定角速度を与える時間を示す。

5 考察

図 5、図 6 から、定角速度時間 T_m が大きくなるほど t_r 方向の残留振れは小さくなるのがわかる。これはすなわち、あまり boom を加速せずにゆっくりと旋回させると、振れが小さいということを意味するので、当然の結果と言えよう。

だが、図 6 において、 t_r 方向の残留振れが、 T_m の増加とともに振動しながら減衰していく様子が観察される。これは、boom が一定角速度で旋回している状態では、遠心力により吊り荷の振れの中心が半径方向にずれる以外、吊り荷の運動に変化がないことを裏付けるものであり、運搬時間と荷振れのタイミングが合えば、半径方向の残留振れを抑えることができるということである。

つまり、所定の時間内に運搬作業を終わらせるというタスクを与えられた時、設定された時間次第ではそれよりも短い運搬時間で運搬を終了させたほうが半径方向の残留振れが少ない結果を得ることができるということである。図 6 を例とすると、 $T = 3[\text{sec}]$ 以内に旋回運搬を終了するタスクを与えられたときは、およそ $T_m = 0.75[\text{sec}]$ 、すなわち、およそ $T = 2.5[\text{sec}]$ で旋回運搬を完了した方が残留振れが小さくなるということである。

6 終わりに

本論文では、旋回方向成分の残留振れを抑制する理論に基づく角速度パターンを利用し、残留振れの旋回方向成分とは無縁であると考えられる定角速度時間を任意に変化させ、boom の旋回と運搬時間、および残

留振れの半径方向成分との関係を明らかにした。

今後の展望として、本論文で明らかにした運搬時間と残留振れの半径方向成分との関係を考慮した、目標旋回角度において残留振れを最小とする制御器の設計について研究していきたい。

参考文献

- [1] 大音光博・安信誠二: 「熟練操縦者の制御戦略を考慮した旋回クレーンの制御」, 計測自動制御学会論文集, Vol.33, No.9, pp.923-929, 1997
- [2] 村上貴夫・安信誠二: 「初期振れを考慮した旋回クレーンの知的制御」, 知能システムシンポジウム資料 24, pp.89-94, 1997
- [3] 土屋輝雄・伊藤公詞: 「旋回クレーンの荷物の振れ止め制御」, 計測と制御, Vol.13, No.10, pp.797-805, 1974
- [4] 日野順市・渡辺典明・芳村敏夫・蘇伝信: 「旋回クレーンの吊り荷の非線形制御」, 日本機械学会論文集 C, Vol.65, No.632, pp.1426-1433, 1999
- [5] 近藤良・島原聖: 「旋回クレーンの 2 モード切り替え振れ止め制御」, 計測自動制御学会論文集, Vol.41, No.4, pp.307-313, 2005
- [6] 中園邦彦・大西公平・金城寛・山本哲彦: 「GA 最適化を用いたニューロコントローラを用いたクレーンシステムの吊り荷の振動制御」, 電気学会論文誌 C, Vol.130, No.5, pp.889-894, 2010

過去状態を考慮した知的駐車制御システムの提案

A proposal of intellectual parking control system with the past states considered

呉 涛, 澁谷 長史, 安信 誠二

Tao Wu, Takeshi Shibuya, Seiji Yasunobu

筑波大学システム情報工学研究科

Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

Abstract: In this paper, the human thinking process when he is trying to go to somewhere is analyzed. Then, a predictive fuzzy controller is built with the human thinking process embedded. Based on the predictive fuzzy controller, an automatic parking control system for four-wheel car with observation-range-limited sensor is proposed. In the system, seven movement candidates are designed for the car, and the predictive fuzzy controller is used to decide the best one considering the distance to target, distance to the obstacle and the similarity to past experienced states, which are stored in a memory. At last, through some simulations, it is proved that the system is effective.

Key Words: Four-wheel car, human thinking, Obstacle, Predictable fuzzy controller

1 はじめに

日本では平成 23 年 2 月末現在の自動車保有車両数は 7 千万を超え [1], 交通・運輸の手段として重要な役割を果たしている。しかし, 交通事故や渋滞など様々な問題を抱えている。様々な問題を解決するには, 高度道路システム (ITS) のような支援システムが提唱されている。しかし, 支援システムを実現するには, 前提としたインフラ面の高度化する必要があるが, 現実には, そちらのことが期待できない場所は多く存在する。そのため, 車両のみでの高度化することにより, 障害物を回避できるような自動運転や自動駐車などを実現することが望ましい。

本研究では, 車両に取り付けた観測範囲限界のあるセンサのみで, 障害物を回避可能な自動駐車制御システムの実現することを目指している。センサの観測範囲限界があり, 車両周囲の障害物の状況しか把握できないため, 車両は同じ状態で同じ操作を繰り返す問題が発生してしまうことがある (図 1)。

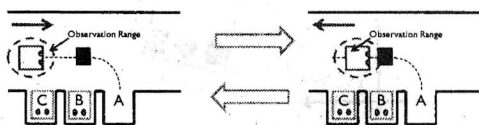


図 1: Action Repeating Problem

本稿では, ある目的地に移動する人間の考え方に基き, 出発してから経験した状態に出来る限りしないようといった知識を制御器に組み込んで, システムを

設計する。

本稿の第 2 節では, ある目的地へ移動する人間の考え方を分析する。第 3 節では, 制御対象モデルについて述べる。第 4 節では, システムの設計を行う。第 5 節では, シミュレーション結果を示す。

2 人間の場合

図 2 のような環境で, A さんは交差点 1 から目的地まで移動とする。A さんは何を考えて行動決定するのかを分析する。

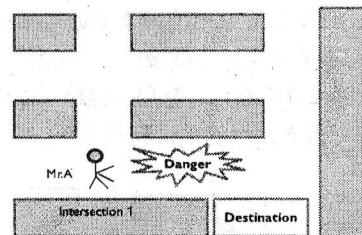


図 2: 人間の場合

分析 交差点 1 (図 3) に, a, b, c の三つ経路候補がある。まず, a に沿って行くと危険状態になり, b と c に沿って行っても危険状態にならないため, b と c のどちらに決定する; 次に, b と c に沿って行くと目的地から遠くなるが, c より, b は離れる程度が小さいため, b は優先となる; 最後に, a, b, c のどちらに沿って行っても経験した状態にならない。結局, 経路 b に決定する。経路 b に沿って行き, 交差点 2 に到着した。

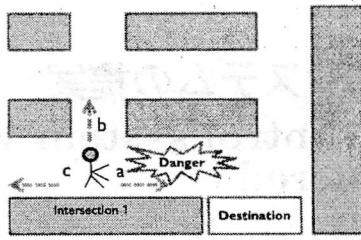


図 3: 交差点 1

交差点 2 (図 4) に, a, b, c, d の四つ経路候補がある。まず, a, b, c, d のどちらに沿って行っても危険状態にならない; 次に, a と d に沿って行くと目的地まで近くなり, b と c に沿って行くと目的地から離れるため, b と c より, a と d は優先となる; 最後に, d に沿って行くと, 経験した状態になるため, d より, a は優先となる。結局, 経路 a に決定する。経路 a に沿って行き, 交差点 3 に到着した。

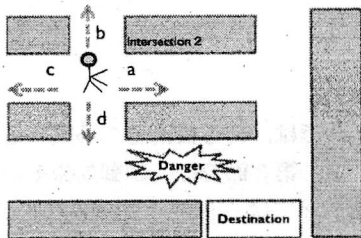


図 4: 交差点 2

交差点 3 (図 5) に, a, b, c の三つ経路候補がある。まず, a, b, c のどちらに沿って行っても危険状態にならない; 次に, b と c に沿って行くと目的地まで遠くなり, a に沿って行くと目的地まで近くなるため, b と c より, a は優先となる; 最後に, a に沿って行っても経験した状態にならない。結局, 経路 a に決定する。経路 a に沿って行き, 目的地に到着した。

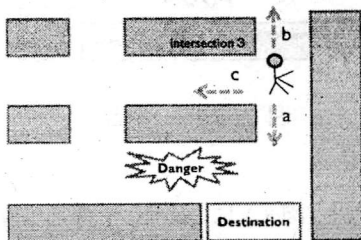


図 5: 交差点 3

結論 前述の分析によって, ある目的地に移動する人間は以下のことを考えて行動決定している。

- 一, 障害物との距離が遠ければ高いほどよい。
- 二, 目的地との距離が近ければ近いほどよい。
- 三, 経験した状態との相似度が低ければ低いほどよい。

上記の三つを行動候補の評価指標にし, 制御器に組み込んで, 自動駐車制御システムを設計する。

3 制御対象モデル

本稿では, 四輪車の主要な運動特性に注目し, 図 6 のような比較的簡単な前輪操舵の四輪車 (以下「車両」と省略する) を制御対象モデルとして用いる。駐車場の環境において, 車両の速度は遠心力の発生を無視できる十分遅い速度で運動すると仮定する。すなわち, 旋回において各車輪は滑りせずに路面と点接触して, 単純に転がっているとす。各車輪は車体に取り付けられており, 円旋回するには車輪それぞれの回転中心軸の延長線上に旋回中心を持たねばならない。後輪の回転中心軸は一本の車軸上にあるから, この延長線と前の内輪, 外輪のそれぞれの回転中心軸の延長線が一点で交わる必要がある。この交点が旋回中心である。また, 車両の左右後輪中間点を車両現在位置とし, 操舵角を左右前輪操舵角の平均とする, 運動学モデルは次のように与えられる。

$$\frac{dx}{dt} = v \cos \phi \cos \theta \quad (1)$$

$$\frac{dy}{dt} = v \cos \phi \sin \theta \quad (2)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{v}{L} \sin \phi \quad (3)$$

$$\phi \approx \frac{\phi_L + \phi_R}{2} \quad (4)$$

ここで, (x, y) は車両現在位置, θ は車両方向角, ϕ は近似操舵角, ϕ_L は左前輪操舵角, ϕ_R は右前輪操舵角, L は前輪中心と後輪中心との距離, v は速度である。

また, 車両の旋回半径 R は式 (5) となる。

$$R = \frac{L}{\tan \phi} \quad (5)$$

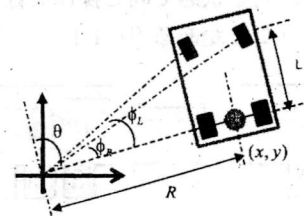


図 6: Four-wheel car model

移動する空間がもっとも小さくなるように, 最大操舵角で旋回とする。また, 駐車場の環境では, 車両の

速度が十分遅い、一定速度とする。ここでは、車両速度が瞬間変化することができるかと仮定する。すなわち、車両の操舵角は「0」、「最大操舵角左回り」、「最大操舵角で右回り」の三種と仮定している。速度は「定低速直前進」、「定低速直後進」、「停車」の三種と仮定している（表1）。

表 1: Operating of four-wheel car

Steering	Velocity
0	Low-Fixed Velocity Forward
Max-Steering Left	Low-Fixed Velocity Backward
Max-Steering Right	Stop

車両の操舵角と速度の操作方法に基づいて、車両の運動方式は「直前進(SF)」、「直後進(SB)」、「左回り前進(LF)」、「左回り後進(LB)」、「右回り前進(RF)」、「右回り後進(RB)」、「停車(SP)」の七種類がある。ここで、前(後)進は定低速となり、左(右)回りは最小半径となっている(図7)。

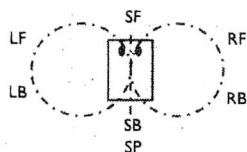


図 7: Movement of four-wheel car model

車両の周囲一定距離以内に、障害物の位置を検出可能なセンサが取り付けられているとする。

また、以下の記述をしやすくするために、「車両状態」という用語を定義しておく。車両状態とは、車両のX-Y座標値($x[m], y[m]$)と方向角($\theta[rad]$)からなるベクトルである(式(6))。

$$\text{車両状態} : (x, y, \theta) \quad (6)$$

4 システム設計

ある目的地へ移動する人間の行動決定の考え方に基づき、システムを設計する。基本的な制御方を述べる。リアルタイムに、一定間隔の時間で、車両状態を記録しておく；リアルタイムに、各動作候補の一定時間後の車両状態を予測する；車両が常に「障害物との距離」、「目的状態との距離」、「経験した状態との相似度」を考慮し、各予測した車両状態を評価し、最高評価値を取った動作候補に決定する。システム構成を図8に示す。

4.1 車両状態予見部

リアルタイムに、各動作候補に対して、現在車両状態に基づき、一定時間後の車両状態を予見し、出力する。

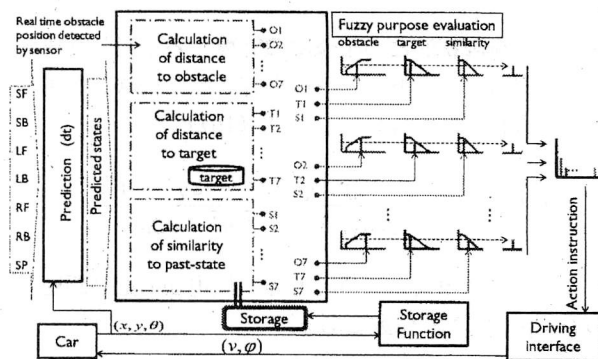


図 8: System configuration

4.2 評価指標値計算部

各予測した車両状態に対して、以下の計算を行う。計算した結果は合計7組21個の評価指標値となり、同時にファジィ目標評価部へ出力される。

障害物との距離の計算 検出した障害物の位置座標と車両の四隅座標との距離(図9)を各々計算し、最小距離を障害物との距離とする(式(7)~(11))。

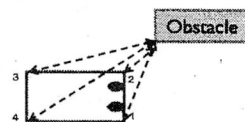


図 9: distance to obstacle

$$d_1 = \sqrt{(x_1 - x_o)^2 + (y_1 - y_o)^2} \quad (7)$$

$$d_2 = \sqrt{(x_2 - x_o)^2 + (y_2 - y_o)^2} \quad (8)$$

$$d_3 = \sqrt{(x_3 - x_o)^2 + (y_3 - y_o)^2} \quad (9)$$

$$d_4 = \sqrt{(x_4 - x_o)^2 + (y_4 - y_o)^2} \quad (10)$$

$$\text{distance} = \min(d_1, d_2, d_3, d_4) \quad (11)$$

目的車両状態との距離の計算 目的車両状態を(0,0,0)にして置き、各予測した車両状態と目的車両状態との距離を計算する(式(12)~(15))。

$$a = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (12)$$

$$b = 1 - \text{sign}(\sqrt{x^2 + y^2} - r) \quad (13)$$

$$c = \pi + (\theta - \pi) \text{sign}(\pi - \theta) \quad (14)$$

$$\text{distance} = ma + n \frac{bc}{2} \quad (15)$$

ただし、 r は車両方向角を考慮か無視かの閾値距離である； m, n は重み係数である。

経験した車両状態との相似度の計算 各予見した車両状態に対して、ストレージに保存された経験した車両状態との相似度を計算する (式 (16)).

$$similarity = \frac{1 - \text{sign}(\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} - r)}{2(p\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} + q\Delta\theta)} \quad (16)$$

ただし, r は車両方向角を考慮か無視かの閾値距離である; p, q は重み係数である.

4.3 ファジィ目標評価部

各計算した評価指標値に対して, 評価する. 最高評価値を取った動作候補に決定し, 出力する.

4.4 車両状態記録部

車両が発してから, 一定時間間隔で, 車両状態をストレージに記録する. ストレージは容量が有限である. 容量が使い切れた場合は, 最新車両状態が最も古い車両状態を上書きする (図 10).

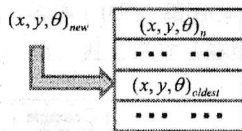


図 10: storage

5 シミュレーション

5.1 実験環境

車両の前後輪距離は 1.5[m], 幅は 1[m] である. 最大操舵角は左右 45[deg] である. 車両に取り付けたセンサの観測範囲は 0.5[m] である. ストレージは 1024 個車両状態を記録可能である. 駐車場幅は 12[m] である. 車庫 (目的車両状態) を (0,0,0) とする. 入り口 (初期状態) を (-8,-18,1.57) とする.

5.2 Case1 : 障害物が存在しない場合

障害物が存在しないことによって, 遠回りしないで, 車庫に寄せて, 駐車できた. 車両運動軌跡を図 11 に示す.

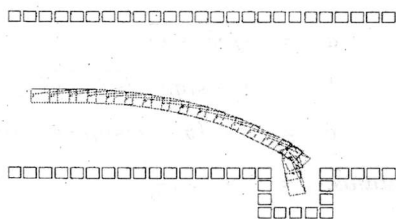


図 11: Movement track of case1

5.3 Case2 : 障害物があり, 遠回りない場合

入り口近傍の車両経路上に障害物を並べておく. 車両は障害物を回避し, 遠回りしないで, 駐車できた. 車両運動軌跡を図 12 に示す.

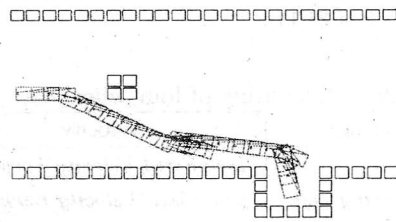


図 12: Movement track of case2

5.4 Case3 : 障害物があり, 遠回りある場合

入り口近傍の車両経路上と車庫近傍の車両経路上に障害物を並べておく. 入り口近傍の車両経路上の障害物を遠回りしないで回避し, 車庫近傍の車両経路上の障害物を遠回りして回避し, 駐車できた. 車両運動軌跡を図 13 に示す.

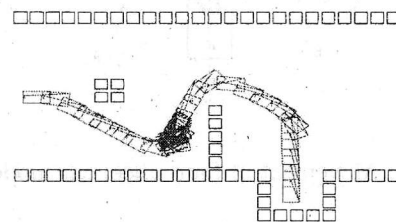


図 13: Movement track of case3

6 おわりに

車両に取り付けた観測範囲限界のあるセンサのみで, 障害物を回避可能な自動駐車制御システムを提案した. シミュレーションを実施し, システムの有効性を検出した. 今後はセンサの最小観測範囲の制限と動的な障害物の回避問題についての検討を行う.

参考文献

- [1] 自動車検査登録情報協会: 自動車保有台数, <http://www.airia.or.jp/number/pdf/01.pdf>
- [2] 呉 涛, 澁谷 長史, 安信 誠二: 移動可能領域を考慮した知的駐車制御システム, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会, 3B1-3, pp1-4 (SSI2010)
- [3] 谷添鉄平, 河本晶晴, 武藤大治, 横井博一: 多様な運転操作が可能な自動駐車システム, 電子情報通信学会, NC2005-80(2005-11)

予見ファジィ制御を用いた知的縦列駐車システムの開発

○賀 川, 澁谷 長史, 安信 誠二(筑波大学)

The development of intelligent parallel parking system by predictive fuzzy control

○Chuan He, Takeshi Shibuya, Seji Yasunobu (University of Tsukuba)

Abstract: In this paper, we will develop a system to perform parallel parking automatically and effectively in some different ways. Even though, the situation that parking space is not large but enough, we will examine it's possibility. By using the predictive fuzzy control, we can make four-wheel car move somewhere we desire it to reach. In the end, we will control the car to avoid the obstacles while go to target position successfully.

1. はじめに

多数の調査結果により縦列駐車に慣れない運転手が数多く存在している。特に日本や欧州やアメリカ等「車社会」と言われる国について、大都市には車両が大量に走っているため、交通安全が大きな問題になっている。縦列駐車の手順が複雑の上、車道上によく行われることから、運転手に非常に大きなプレッシャーをかけてしまう。駐車操作がうまく行かないことになりやすく、交通事故・渋滞を引き起こす可能性が高い。

本研究では予見ファジィ制御を用いた知的縦列駐車システムの開発を提案する。熟練者の知識をコンピュータに組み込み、駐車スペースの大きさによりいくつか駐車方法を検討し、最後は狭い駐車スペースでも障害物にぶつからないように効率的な縦列駐車を目指す。

2. 予見ファジィ制御

この方式では、システム状態の観測値をもとに、制御則に仮定された候補値について、制御目的となる被評価量を予見・予測し、多目的評価のファジィ推論を行い、最適な制御指令を決定する。具体的には、対象システムの特性を把握した操作者の経験則から、「もし(If) 制御入力 Δu を C_i と変化した場合、評価指標 x は A_i であり、評価指標 y は B_i であるならば、(then) 制御入力 Δu を C_i

とする。」といった制御規則に基づき、もっとも望ましい状況に制御できる制御指令を選択していく。この予見ファジィ制御の制御則を一般的に示すと、 $If(\Delta u \text{ is } C_i \rightarrow x \text{ is } A_i \text{ and } y \text{ is } B_i) \text{ then } \Delta u \text{ is } C_i (i = 1, N)$ となる。図1は予見ファジィ制御の推論過程を示す。

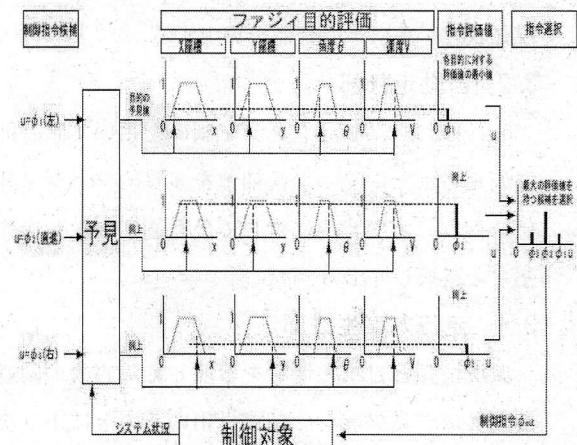


図1 予見ファジィ制御の推論過程

3. システムの構成

本研究のシステムは状況監視部、目標設定部、自動走行部、走行方案生成部から構成されるシステムの構成は図2に示す。

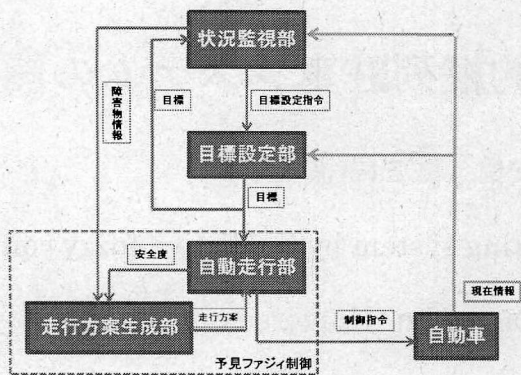


図2 システムの構成図

3.1 状況監視部

現在状況(自車の位置、速度、向き、自車と障害物との距離、壁との距離)目標到達を監視して情報出力する。目標に到達した場合、目標設定部に新目標設定を要求する。

3.2 目標設定部

状況監視部から指令を受けた際、現在状態と最終目標との位置差から戦略を決定、現在状態に基づいて自動車の動特性を考慮した上で途中目標を設定する。途中目標はまだ到達していない場合、現在の目標を維持する。途中目標を到達した場合、現在状態から次ぎの目標を算出する。

3.2 自動走行部

0.1秒おきに予見ファジィ制御を用いて制御則に仮定されたいくつか候補値を多目的ファジィ評価を行う。実際状況に対して最も適切な舵角操作指令を選択して出力する。

3.4 走行方案生成部

環境情報と自車の情報を参照して障害物の回避必要性に予見ファジィ制御を用いることにより決める。

4. 駐車スペースの大きさによる駐車方法

駐車スペースは車体長さの「2倍以上」の場合：まずは前向き駐車を行い、目標到達したら車体を後退してポジション調整で駐車終了。「約1.5倍~2倍」の場合：まずは後向き駐車を行い、目標到達したら車体を前進してポジション調整で駐車終了。

「約1.2倍~1.5倍」の場合：具体的な駐車方法を検討中。大まかな駐車プロセスを図3に示す。

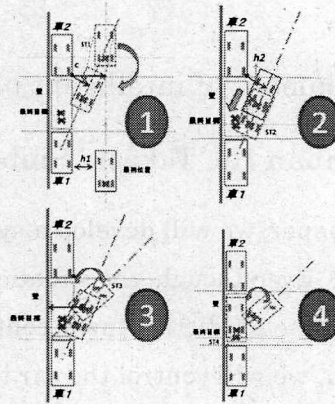


図3 「約1.2倍~1.5倍」の場合の駐車プロセス

5. シミュレーション

上述中に2つの駐車方法の可能性を検証した。

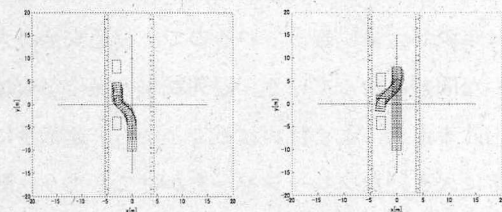


図4 「2倍以上」と「約1.5倍~2倍」の場合

6. 参考文献

- [1] 齋藤光希, 安信誠二, 「ファジィ目標を用いた四輪車の自動走行」第30回ファジィワークショップ講演論文集, pp. 43-44 (2008. 3).
- [2] 安信誠二, 「ファジィ工学」, 昭晃堂, 1991.

連絡先:

〒305-8573
茨城県つくば市天王台1-1-1
筑波大学大学院システム情報工学研究科
知能機能システム専攻 知的制御システム研究室
賀川(がせん)
電話: 029-853-6186

動的環境へ適応可能な知的操作支援システム

Intelligent operation support system adapting to a dynamic environment

劉 翔 安信 誠二 渋谷 長史

Liu Xiang Seiji Yasunobu Shibuya Takeshi

筑波大学 システム情報工学研究科

Graduate School of System and Information Engineering, University of Tsukuba

Abstract: When driving a car on the road, surrounding circumstances is changing every moment. In order to give appropriate support to drivers, it must be considered that not only the current states of surrounding circumstances but also future surrounding circumstances by the driving support system. In this paper, in order to make a safe lane change and smooth driving, an intelligent operation support system adapting to a dynamic environment is proposed.

1 はじめに

街中で運転するとき、どうしても避けて通れないのが車線変更である。運転士が安全でスムーズな車線変更を行うために、走行支援システムの導入が必要である。

しかし、従来の支援システムには、支援情報を出す時点と運転士が操作を行う時点との間にタイムラグが発生するという問題を抱えている。従来の支援システムにより、運転士に適切な支援を出すのが困難である。

本論文では運転士に安全でスムーズな車線変更をさせるために、動的環境へ適応可能な知的操作支援システムを構築する。

2 動的環境下での支援について

支援を行う際には車両操作を考えなければならない。本研究で車線変更における車両操作は「現車線を走る」、「右車線に移る」と「左車線に移る」の三つの操作から構成される。適切な支援情報を出すために、最も重要なのは運転知識である。熟練運転者は車線変更するとき、まず変更したい車線に、移れそうなスペースがあるかどうか確認する。次に自分の車と隣の車の位置関係を把握し、自分の車を移動させるタイミングを決定し、スムーズな車線変更を行う。本論文ではそのような熟練者のもとに、車線変更時の運転知識を決定する。

移りたい車線に走行中の前後方車両を考慮し、以下のようなファジールールを定める。

Rule1: 前方車両がずっと遠くて、後方車両がずっと遠いならば、移りたい車線に移る

Rule2: 前方車両がずっと遠くて、後方車両が急に近く

なるならば、現車線を走る

Rule3: 前方車両がだんだん近くなって、後方車両が一気に近くなるならば、現車線を走る

3 システム構成

本知的操作支援システムの構成は図1に示す。提案する支援システムは状態監視部、状態予測部及び支援決定部から構成される。状態監視部では他車両との相対位置、相対速度及び自車両速度を周囲の状態量として扱っている。状態予測部では現在状態から将来状態を予測する。支援決定部では、熟練者の知識をもとに現在の状態と将来の状態と状態量の変化動向から、適切な支援情報を音声で運転士に提示する。支援決定部では状態量の変化動向を把握するため、状態推移ファジィ集合を定義する。状態推移ファジィ集合とは従来のファジィ集合に時間の軸を加えることで、人間の持つ「時間変化に関する曖昧性を含む知識」をコンピューターに組み込むことができるというファジィ集合である。状態推移ファジィ集合を用い、時間変化を考慮したファジィ推論により、適切な支援情報を出せるようになる。

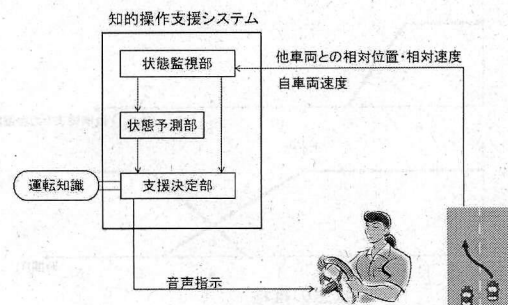


図1: システム構成

図2のような三つのメンバーシップ関数から構成された状態推移ファジィ集合を定義すると、他車両との距離が急に遠いから近くなるという意味を表わすことができる。そのような状態推移ファジィ集合を定義するのに12個のパラメータが必要である。距離が遠いから近くなるという意味を表すので、0秒のメンバーシップ関数が遠いところで帰属度が高く、6秒のメンバーシップ関数が近いところで帰属度が高くなる。一番下にあるメンバーシップ関数は、0秒の状態から急に6秒の状態に移転するということを表す。

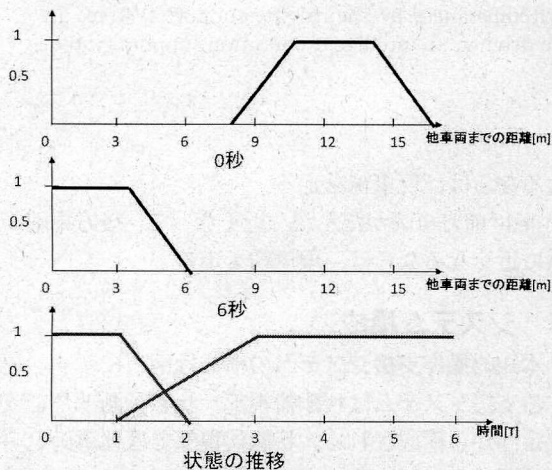


図2: 距離が遠いから急に近くなる

図3のような状態推移ファジィ集合を定義すると、他車両との距離が遠いからだんだん近くなるという意味を表わすことができる。遠いから近くなるという意味を表しているのので、前のほうと違っているところは一番下のメンバーシップ関数だけである。つまり、変化の程度が異なる。状態推移ファジィ推論によるファジィ制御指令の決定の過程を図4に示す。

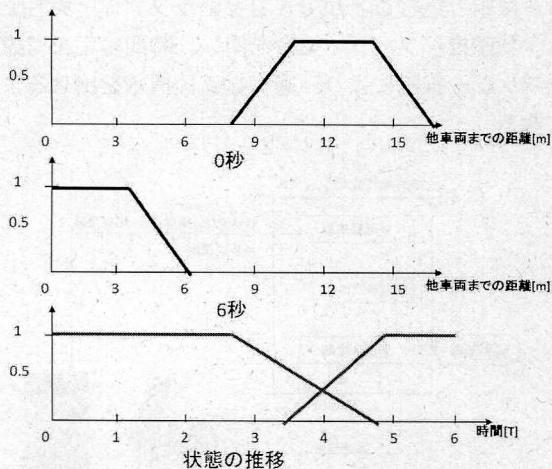


図3: 距離が遠いからだんだん近くなる

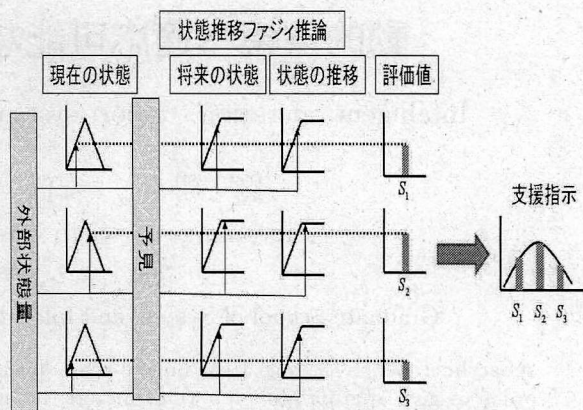


図4: 状態推移ファジィ推論

4 シミュレーション

提案するシステムを用い、車線変更時の操作支援のシミュレーションを行う。2車線道路の左車線にある自車両が右車線に車線変更をする場合を想定する。左車線には自車両以外に車両がなく、右車線には他車両を5台用意する。初期状態は、自車両が初期位置0m、初期速度60km/hとし、他車両は初期位置と初期速度を適宜与え、さまざまな交通状況を再現する。

5 まとめ

本稿では動的環境下で状態推移ファジィ推論により、車線変更する際に運転士に操作支援を実行する知的支援システムを提案した。今後の課題としては、提案したシステムをプログラムに実装し、シミュレーションを進めていく。そして状態推移ファジィ推論による操作支援の有効性をシミュレーションによって検討する。

参考文献

- [1] 安信誠二, 「ファジィ工学」, 昭晃堂, 1991.
- [2] S. Yasunobu and M. Kokuhuda: Intelligent Operation Support Method based on Time Change Fuzzy Sets, IFSA2009, pp.657-662, 2009.7

連絡先

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1
 筑波大学大学院システム情報工学研究科
 知能機能システム専攻知的制御システム研究室
 劉 翔
 E-mail: liu@fz.iit.tsukuba.ac.jp
 029-853-6186