

AIMaP 研究集会等実施報告書

(Part 1/4) 名称・重点テーマ・キーワード等

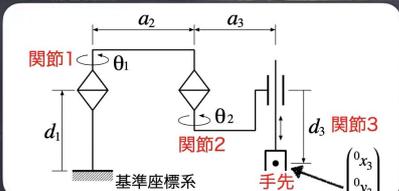
項目	内容
名称	第 7 回筑波大学 RCMS サロン「ロボティクスの数理」
採択番号	2020A003
重点テーマ	AI・データ駆動型科学の限界突破と活用範囲の拡大 (数理統計学とその応用)
キーワード	ロボティクス、運動計画、軌道計画、逆運動学、計算機代数、数式処理、制御工学、数理最適化
主催機関	筑波大学数理科学研究コア (RCMS) 共催: AIMaP
運営責任者	照井 章(筑波大学・数理物質系・准教授)
開催日時(開始)	2020/12/11 15:15
開催日時(終了)	2020/12/11 18:00
開催場所	オンライン (Zoom)

(Part 2/4) 最終プログラム・参加者数

項目	内容
最終 プログラム	12月11日(金) 15:15--15:30 ティータイム 15:30--16:00 講演 1 講演者: 三河正彦(筑波大学 図書館情報メディア系) 講演題目: ロボットマニピュレータの逆運動学問題に関する最新動向 16:00--16:15 休憩 16:15--16:45 講演 2 講演者: 照井 章(筑波大学 数理物質系) 講演題目: 数式処理によるロボットの運動計画: 概要と課題 16:45--17:00 休憩 17:00--17:30 講演 3 講演者: 梶田秀司(産業技術総合研究所) 講演題目: 2 足歩行ロボット制御の数理 17:30--18:00 ティータイム
参加者数	数学・数理科学: 30 人, 諸科学: 15 人, 産業界: 20 人, その他: 15 人

(Part 3/4) 論点・現状・今後の展開

項目	内容
当日の論点	<p>【講演 1】ロボットマニピュレータの逆運動学問題の構成と解法を概観し、今後の課題や活用法について議論した。</p> <p>【講演 2】数式処理によるロボットマニピュレータの逆運動学問題の解法を概観し、今後の課題について議論した。</p> <p>【講演 3】2 足歩行ロボットの運動計画の手法や逆運動学問題の解法を概観し、今後の課題について議論した。</p>
研究の現状と課題（既にご覧になっていること、できていないことの切り分け）	<p>【講演 1】ロボットマニピュレータの逆運動学問題の解法として、これまでは数理最適化に基づく手法がよく使われているが、近年では進化論的アルゴリズムに基づく手法が提案されており、計算精度および計算効率の両面で効果を上げていること、および、今後、逆運動学問題の解法を設計する際は、進化論的アルゴリズムに基づく手法の性能がベンチマークの一つになり得ることが指摘された。逆運動学問題の解法は、現実の機械としてのロボットのみならず、コンピュータのゲームやアニメーションなどのグラフィクスでも活用されており、これらのソフトウェアの開発を行うためのライブラリ等も普及していることが紹介された。</p> <p>【講演 2】ロボットマニピュレータの逆運動学問題を、連立代数方程式に帰着させ、多変数多項式環のイデアルのグレブナー基底を用いて効果的に解く手法が解説された。代数的手法の長所（主に解の精度保証）と課題（主に計算効率）を挙げたのち、計算効率を改善させる可能性のある手法として、包括的グレブナー基底系の利用が指摘された。</p> <p>【講演 3】2 足歩行ロボットの運動計画と逆運動学問題について論じ、2 足歩行のモデル化の紹介を行った。これまで、2 足歩行ロボットの歩行時にひざが少し曲がっている姿勢は、運動計画を時間で離散化していたことが原因であったが、これに対し、運動計画を空間で離散化することにより、ロボットがひざをより伸ばした姿勢で歩行可能になったという研究成果が紹介された。</p>
新たに明らかになった課題	<p>【講演 1】今回の講演で紹介された技術で、ロバストな制御ができるのかという質問があった。これに対し、講演者から、現在の運動計画の技術では、時々刻々と変化する状況に対してリアルタイム制御が可能な効率を達成しているため、大域的な軌道計画のもとで、リアルタイムな制御を継続することにより、ロバストな制御がある程度達成可能ではないかとの指摘がなされた。</p> <p>【講演 2】今回の講演で紹介された手法が順動力学問題に応用できると、ロボット制御のいろいろな分野に波及効果が見込めるのではないかと指摘があった。これに対し、講演者から、今回紹介した手法の順動力学問題への応用は今後の課題の一つとなり得るとの反応があった。</p> <p>【講演 3】質疑応答の中で、ロボットが膝を曲げた状態での歩行は、膝を伸ばした状態での歩行と比較して外力の干渉などの障害により強いのかとの質問があり、膝を曲げた方が障害にはより強いとの説明があった。また、今回の講演で紹介された、ロボットがひざを伸ばした姿勢で歩行するための運動計画を空間で離散化する手法では、時間の刻み幅が時刻によって変化するが、実際の制御の際には時間の刻み幅は一定に保つ中で、制御の時間間隔を変化させることで、擬似的に時刻の刻み幅を変化させているとの説明があった。</p>
今後解決すべきこと、今後の展開・フォローアップ	<p>今後、各講演者や関係者の間で研究打ち合わせを継続し、情報交換を行いつつ、研究課題の解決を図る。</p>

項目	内容
<p>添付写真 1 三河氏の講演(スクリーンショット)</p>	<p>逆運動学の例: 3自由度マニピュレータ</p>  <p>手先位置</p> $\begin{pmatrix} {}^0x_3 \\ {}^0y_3 \\ {}^0z_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_2 C\theta_1 + a_3 C(\theta_1 + \theta_2) \\ a_2 S\theta_1 + a_3 S(\theta_1 + \theta_2) \\ d_1 - d_3 \end{pmatrix}$ <p>これらの連立方程式を解くと,</p> $\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{{}^0y_3}{{}^0x_3} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{a_3 \sin \theta_2}{a_2 + a_3 \cos \theta_2} \right)$ $\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{\pm \sqrt{1 - D^2}}{D} \right)$ $d_3 = d_1 - {}^0z_3$ <p>ただし</p> $D = \frac{{}^0x_3^2 + {}^0y_3^2 - a_2^2 - a_3^2}{2a_2a_3}$ <p>逆運動学の解析解</p> <p>11 Dec 2020 RCMS2020 23 mikawa@lis.tsukuba.ac.jp</p>
<p>添付写真 2 照井氏の講演(スクリーンショット)</p>	<p>連立代数方程式の「三角化」による解法 グレブナー基底の計算により、方程式の形を変える</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; background-color: #e0f0ff;">与えられた連立代数方程式</div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; background-color: #e0f0ff;">グレブナー基底の計算によって「変形」された連立代数方程式</div> </div> $\begin{cases} f_1(x, y, z, w) = 0 \\ f_2(x, y, z, w) = 0 \\ f_3(x, y, z, w) = 0 \\ f_4(x, y, z, w) = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} g_1(x) = 0 \\ g_2(x, y) = 0 \\ g_3(x, y, w) = 0 \\ g_4(x, y, z, w) = 0 \end{cases}$ <p>28</p>
<p>添付写真 3 梶田氏の講演(スクリーンショット)</p>	<p>まとめ</p> <ol style="list-style-type: none"> 2足歩行が難しい理由 = 床反力の制約 膝曲げ歩行は、時間関数で軌道計画をしていたため 空間量子化ダイナミクスで問題解決! <p>歩行ロボットの制御が難しい理由</p> <ol style="list-style-type: none"> 床反力に関する制約条件がある (1/2) にもかかわらず、床反力は連続制御できない <p>重心軌道はZMP軌道から決まるので...</p> <p>空間量子化ダイナミクス</p> <p>27</p>