

論文内容の要旨

博士論文題目

赤外線深度センサを用いた下部形状認識によるマウス歩行解析システムの開発

氏名

中村 彰宏

マウスは基礎生物、医学分野において様々な研究に利用されており、最も重要な実験動物の一つである。特に、近年注目を集める遺伝的疾患の研究や再生医療において頻繁に疾患モデルとして用いられ、治療法の発展を支えている。しかし、これらの研究の中には、治療効果の評価が目視によって行われているため、データの客観性が確立されていない、評価に時間的コストがかかってしまうといった問題を抱えているものが少なくない。これはマウスの自然な四肢動作を3次元的に計測するシステムがまだまだ実用化されておらず、自動での評価が実現していないためである。

本論文では、この問題を解決するために開発した、マウス歩行解析システムについて記載する。提案システムは、赤外線深度センサを用いてマウスを腹面から計測することで、脚同士によるオクルージョンを避けて四肢の形状を取得し、既存システムでは実現していないマーカーレスでの三次元四肢動作解析を実現する。さらに、床に赤外線透過フィルタを用いることで、高所恐怖によるマウス行動への影響を防ぎ、自然な歩行動作を計測することを可能とした。

本論文以前には、赤外線深度センサを用いてマウスの四肢動作を計測しようとした既存研究はなく、赤外線深度センサによるアプローチの有効性は議論されていなかった。そのため、まずシミュレーション上で赤外線深度センサによる歩行解析の実現可能性を検討し、それによって明らかになった課題を踏まえて、実マウスに対する歩行解析システムを開発を行った。

シミュレーションでは、自動化の需要が高く、関節角レベルでの動作計測が必要とされる脊髄損傷マウスに対する歩行解析システムを想定し、人間に対するマーカーレスモーションキャプチャ手法を応用することで後肢関節角推定の実現を図った。3DCGを用いた実験で、平均誤差(MAE)およそ 3.9° での関節角推定を実現できることを確認するとともに、実マウスへの応用で考慮すべき点を洗い出した。

実マウスに対する歩行解析システムの開発では、既存の歩行解析で着目されている歩行中のマウスの足跡と四肢末端の軌道を対象とし、AGEX アルゴリズムと呼ばれる凸点を抽出するアルゴリズムによりそれぞれの軌道を推定した。健常マウスを用いた実験を行い、人間の目視による追跡と比較して MAE 4.3 mm 程度での足跡追跡と、MAE 4.7 mm 程度での 3 次元四肢末端追跡が行えていることを確認した。さらに、床に赤外線透過フィルタを用いた場合と透明なアクリル板を用いた場合でのマウスの行動を比較し、透明な床上ではマウスが何らかの恐怖を感じている時と同様の行動が見られることを明らかにした。

このシステムの実用化により、今までは人間の目視に依存していた解析において、簡便な定量的評価が可能となり、客観性の向上と時間的コストの低減につながることを期待される。現在システムの製品化を進めており、速やかな普及のために、低価格で簡便なシステムを目指している。

氏名	中村 彰宏
----	-------

(論文審査結果の要旨)

マウスは基礎生物学・医学分野における代表的な実験動物であり、その行動を客観的・定量的に解析するシステムの開発は、実験の効率と信頼性を高めるために重要である。本研究はマウスの行動の中でも歩行に着目し、赤外線深度センサを利用して、マーカーレスで四肢動作を3次元計測するシステムを提案したものである。

本研究ではまず、腹面から計測することにより、赤外線深度センサによって四肢の形状を獲得できることを示した。その際、床には赤外線透過フィルタを用いることで、マウスの高所恐怖による行動への影響を防いでいる。3次元CDを用いたシミュレーション実験により、関節角の推定精度を評価したところ、平均誤差 3.9° であり、実用に耐える精度を実現していることがわかった。

次に、本システムでの計測データを利用した、足跡と四肢末端の軌道を推定する方法を提案した。提案法はAGEXアルゴリズムと呼ばれる凸点抽出アルゴリズムに基づいている。健常マウスを用いた実験において、人の目視による追跡と比較したところ、足跡追跡で平均誤差4.3mm、3次元四肢末端追跡で平均誤差4.7mmであった。

さらに、本システムを利用して、床に赤外線透過フィルタを用いた場合と透明アクリル板を用いた場合で、行動が異なることを実証した。これは、透明では何らかの恐怖を感じており、赤外線透過フィルタの利用が有効であることを示している。

以上をまとめると、本論文は深度センサを用いてマウス歩行解析システムを開発した研究であり、今後のマウスを対象とした研究に大いに資すると考えられる。よって、博士(工学)の学位に値するものと認められる。