

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：32704

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25870842

研究課題名(和文)パルスニューラルネットワークを用いた人型ロボットの行動制御法に関する研究

研究課題名(英文)A study of action control method of the humanoid robot using a pulsed neural network

研究代表者

元木 誠 (Motoki, Makoto)

関東学院大学・理工学部・准教授

研究者番号：20440282

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：全高が子供程度の二足歩行ロボット「RIC-90((株)アールティ)」を購入し、各種センサおよびノートPCを搭載することで自律行動できるように改良を施した。また、小型(全高35cm程度)の人型ロボットを用いて、遺伝的アルゴリズムとニューラルネットワークにより、歩行時の転倒回避動作をリアルタイムに補正するとともに、適切なタイミングで適切な動作を行う行動ルールを強化学習で構築する手法を改良した。検証実験の結果、従来よりも転倒回避行動の成功率が向上した。今後は本手法をキッズサイズ人型ロボットに適用し、芝生や砂地など様々な地面でも転倒しない行動制御法の考案および実機での検証を行う。

研究成果の概要(英文)：I have obtained a kids-size biped walking robot: "RIC-90 (RT Co., Ltd)". It is equipped with various sensors and a note PC so that the robot is able to act autonomously. In addition, using a small (the height is about 35cm) humanoid robot, I have improved the method that a biped walking robot avoids falling while walking by a neural network and a reinforcement learning. The neural network of the method is used a control of the attitude in real time. The reinforcement learning was used that build a rule in order to act in appropriate timings. Result of experiment elucidate that the success rate of the avoidance of falling improve than the conventional method. I will apply the improved method to kids-size biped walking robot in future. In addition, I will verify the validity of the method, using an actual machine with various ground including the sandy area and lawn area.

研究分野：ソフトコンピューティング

キーワード：パルスニューラルネットワ 人型ロボット 転倒回避

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 自律ロボットのコントローラにニューラルネットワークを使用し、そのパラメータをメタヒューリスティクスにより最適化する場合、ロボットの行動を繰り返し評価する必要がある。また、最適化する環境としては、実機を用いる場合とシミュレータを用いる場合がある。シミュレータを用いて最適化する場合、意図した環境とすることができ、かつ実験の再現が可能であり、実験時間が大幅に短縮できるといった利点がある。一方、実機を用いて最適化する場合では、ノイズの影響などを直接反映でき、実環境ですぐに運用できるという利点があるが、ロボットの行動評価回数が多くなれば、最適化にかかる時間、およびロボットのメンテナンスコストが増加するため、できるだけ評価回数を少なくすることが求められる。しかしながら、自律ロボットに与えるタスクが複雑になるほど評価回数は増加し、実際の開発現場でメタヒューリスティクスを適用するのは困難であるといえる。この問題に有効な手法、つまり評価回数を削減することが可能な手法として、北山、安田ら[Kitayama 2008]によって統合的最適化システムが提案されている。

北山、安田らによって提案されているシステムは、少ない評価回数で良好な近似最適解を得ることが可能であり、実際の開発現場での最適化に活用できる有効なシステムといえる。ロボットのコントローラをボトムアップ的に構築する場合において、統合的最適化システムは実機を用いる場合とシミュレータを用いる場合の双方の利点を兼ね備えた最適化システムであるといえる。

そこで、研究代表者らは、ロボットの行動設計に統合的最適化システムを適用することを考え、ロボットの行動を最適化するための RBF ネットワークと GA を用いた統合的最適化システムを[Hara 2011]の論文にて提案し、コントローラにニューラルネットワークを用いた車輪型移動ロボットの行動設計においては、統合的最適化システムが行動評価回数および最適化に要する時間を削減できる有効な手法であることを明らかにした。

(2) 研究代表者は、現在までに、図 1 のような車輪移動ロボットのコントローラにニューラルネットワークを使用し、ボトムアップ的にコントローラを構築する手法を研究している。

特に、出力関数として RBF やシグモイド関数を使用する通常のニューラルネットワークよりも、生物の神経細胞ネットワークの振る舞いに近く、時系列データの処理能力が高いパルスニューラルネットワークを用いたロボットコントローラについて研究しており、[Motoki 2007]の論文にて、車輪型自律移動ロボットのコントローラにパルスニューラルネットワークを用いると、従来もちいられていたニューラルネットワークに比べ、コントローラが構築しやすく、性能も優れて



図 1 研究で使用している車輪移動ロボット

いることを明らかにした。

(3) 人型ロボットは車輪移動ロボットや多脚ロボットに比べ、移動速度が遅い、歩行時に転倒のリスクが高いなどのデメリットがあるが、なによりも人型ロボットは、環境をロボットのために整備する必要がなく、人と同じ環境で行動することができ、危険な場所での作業や人との共同作業など人の代わりとして使用するには最も適しているといえ、国内外を問わず人型ロボットに関する研究が盛んに行われている。

人型ロボットの行動ルールの構築は、車輪移動ロボットと違い、転倒する可能性を考慮する必要があるため、ルール構築の自動化が困難である。また、人型ロボットを様々な環境下で行動できるようにするためには、その環境での最適な歩行動作を実現することが必要となる。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究では人と同じ環境で使用可能な全高が子供程度の人型ロボットのコントローラに、パルスニューラルネットワークを使用し、そのパラメータの最適化に統合的最適化システムを適用することで、芝生や砂地など凹凸のある様々な地面でも転倒しない行動制御方法を考案することを目的とし、以下の達成を目指す。

人型ロボットの歩行動作を芝生や砂地など凹凸のある様々な地面でも転倒しないように制御するためのパルスニューラルネットワークモデルの考案

人型ロボットのコントローラであるパルスニューラルネットワークを最適化するための統合的最適化システムの考案

キッズサイズ人型ロボットを用いて、考案したパルスニューラルネットワークと統合的最適化システムの有効性を検証する実機実験の実施

なお、最適化する行動は、人型ロボットの行動で最も特徴的、かつ基本である歩行動作とする。

(2) 人型ロボットをコントロールするためのパルスニューラルネットワークモデルは、まだ提案されておらず、パルスニューラルネ



図2 小型人型ロボットPALRO  
(富士ソフト(株))

ットワークモデルを提案することで、通常のニューラルネットワークよりも時系列を考慮した制御が実現できる。また、統合的最適化システムを用いる行動最適化法が、ロボットの行動評価回数および最適化に要する時間を削減することが可能であることから、パルスニューラルネットワークのパラメータチューニングを実機および実環境中で行動の最適化が可能となる。さらに、パルスニューラルネットワークでコントロールする人型ロボットのサイズをキッズサイズとすることで、人と同じ環境で検証することができ、実際の階段を昇降する行動を行わせたり、砂地や芝生上で歩行させることが可能となる。

以上のように、パルスニューラルネットワーク、統合的最適化システム、キッズサイズ人型ロボットを組み合わせる点が、本研究の特色である。

### 3. 研究の方法

(1)「研究目的」で説明した目的を達成するための基礎となるのが、研究代表者が主となって研究を進めている[Matsui 2012]の論文である。その論文にて提案しているニューラルネットワークを用いた二足歩行ロボットの転倒回避動作の補正法を、パルスニューラルネットワークを用いることで、時系列を考慮した歩行動作の制御法に拡張する。本研究では、[Matsui 2012]で使用している通常のニューラルネットワークを、[Motoki 2007]の論文をもとにパルスニューラルネットワークに拡張することを検討する。

(2)「研究目的」で説明した目的を達成するための基礎となるのが、研究代表者が主となって研究を進めている[Hara 2011]の論文である。[Hara 2011]では、コントローラにニューラルネットワークの用いた車輪型移動ロボットの行動を最適化するためのRBFネットワークとGAを用いた統合的最適化システムを提案しており、車輪型移動ロボットの行動をGAのみで最適化した場合(従来手法)と、統合的最適化システムで最適化した場合(提案手法)を比較した結果、提案手法は従来手法の約70[%]の評価回数で済み、か

つコントローラの構築成功率も30[%]向上することが明らかとなっている。この結果より、メタヒューリスティクスを適用することが難しい人型ロボットのコントローラ構築問題に対しても、[Hara 2011]の手法が適用できる可能性が高いといえる。本研究では、この統合的最適化システムを拡張し、二足歩行ロボットのコントローラであるパルスニューラルネットワークのパラメータをチューニングするための統合的最適化システムを考案する。

なお、検証実験はメンテナンスコストの抑制のために、まずは既に所有している図2の小型の人型ロボットを使用し、研究代表者の研究室にて実験を行う。

(3)「研究目的」で説明した目的は、人型ロボットの歩行動作を制御するためのパルスニューラルネットワークモデルおよび統合的最適化システムが、小型の人型ロボットを用いて十分に検証され、それら手法が有効であると判断できる場合に行う。

その際、キッズサイズ人型ロボットを用いて、所属機関のキャンパスを利用し、実際の芝生や砂地など凹凸のある地面で検証実験を行う。

### 4. 研究成果

(1)本研究で使用するキッズサイズ人型ロボットとして、株式会社アールティから販売されているキッズサイズ二足歩行ロボット「RIC-90」を購入し、各種センサおよび自律制御用PCを搭載することで自律行動できるように改良を施した。これにより、本研究の目的である、ニューラルネットワークを全高が子供程度の人型ロボットのコントローラとして使用することで、芝生や砂地など様々な地面でも転倒しない行動制御法の考案および実機での検証が可能となった。

(2)車輪型自律移動ロボットのコントローラとしてパルスニューラルネットワークを使用した場合の車輪のスリップやセンサノイズなどの外乱に対する頑健性を、シミュレータ実験および実機実験で調査した。その結果、パルスニューラルネットワークは外乱に対する頑健性が非常に低いことが明らかとなった。このままでは人型ロボットの歩行時の姿勢制御には使用できないことから、車輪型自律移動ロボットを用いて外乱に強いパルスニューラルネットワークのモデルについて検討した。今後は、外乱に強いパルスニューラルネットワークのモデルを考案した後、そのモデルを人型ロボットのコントローラとして使用し、様々な地面でも転倒しない行動制御法を研究する。

(3)以前から研究している小型(全高35cm)の人型ロボットを用いて、遺伝的アルゴリズムとニューラルネットワークにより、歩行時の転倒回避動作をリアルタイムに補正するとともに、適切なタイミングで適切な動作を行う行動ルールを強化学習で構築する手法

を改良した。本手法を簡単に説明する。まず，人型ロボットを凹凸のない水平な路面に置き，直立姿勢から機体を傾けた時に転倒回避動作を行い，直立姿勢に戻るまでの動作が安定するように GA を用いてモーションを最適化する。ここで，モーションとは，複数のポーズとそれらのポーズを実行する速度の集合であり，ポーズとは各サーボモータの角度位置の集合である。本研究で使用する人型ロボットは，モーションを実行することで動作し，機体が傾いて転倒しそうになったときに，転倒方向（前後左右の 4 方向）に対する転倒回避モーションを実行することで回避動作を行う。つづいて，GA で最適化された転倒回避モーションを，様々な状況（機体の傾いた角度や傾く速度）に対応できるように，出力関数にシグモイド関数を用いたニューラルネットワークによりリアルタイムに補正する。ニューラルネットワークのパラメータ調整には GA を用いる。なお，従来手法からの改良点は，転倒方向が前後左右方向だけでなく，斜め方向にも対応できるようにした点である。以上の手法についてその有効性を実機実験で検証した結果，従来よりも転倒回避行動の成功率が向上した。今後は本手法をキッズサイズ人型ロボットに適用し，芝生や砂地など様々な地面でも転倒しない行動制御法の考案および実機での検証を行う。

なお，本研究の成果は，雑誌論文および学会発表で公表した。

#### < 引用文献 >

[Kitayama 2008] S. Kitayama, K. Yasuda and K. Yamazaki : “ The Integrative Optimization by RBF Network and Particle Swarm Optimization”, IEEJ Trans. EIS, Vol. 128, No. 4, pp.636-645 (2008)

[Hara 2011] 原 翔悟, 山崎洋一, 元木 誠, 安田恵一郎「RBF ネットワークと遺伝的アルゴリズムによる自律移動ロボットコントローラの構築」, 電気学会論文誌 C , Vol.131-C, No.5, pp.1000-1008 (2011.5) 査読有

[Motoki 2007] 元木 誠, 小坏成一, 平田 廣則, 「短期的な伝達効率の調節機構を持つパルスニューラルネットワークの自律移動ロボットへの応用」, 電気学会論文誌 C , Vol.127-C, No.7, pp.1052-1060 (2007.7) 査読有

[Matsui 2012] 松井優太, 元木 誠, 「二足歩行ロボットの歩行時の転倒回避動作」, 平成 24 年電気学会電子・情報・システム部門大会, pp.590-595 (2012.9) 査読無

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

元木 誠, ロボットチャレンジ課題を用いた機械学習応用教育, 情報処理学会誌「情報処理」特集: 分野を超えたものづく

りと教育 - 組込みシステム開発教育のためのロボットチャレンジ - ,Vol.56 ,No.1 , pp.71-73 , 2015

元木 誠, 機械学習で賢いロボットをつくる」, 電気学会誌 特集: こここまできたマシナラーニング ~ 医療からアミューズメントまで ~ ,Vol.133 ,No.6 ,pp.352-355 , 2013

DOI:10.1541/ieejjournal.133.352 ,

〔学会発表〕(計 6 件)

元木 誠, 機械学習による二足歩行ロボットの歩行時の斜め方向への転倒回避行動, 平成 26 年電気学会電子・情報・システム部門大会 ,2014 年 09 月 03 日 ~ 2014 年 09 月 06 日, 島根大学松江キャンパス (島根県・松江市)

小山裕昭, 清水拓巳, 千葉 亮, 元木 誠, パルスニューラルネットワークを用いた車輪型自律移動ロボットコントローラの性能調査, 平成 26 年電気学会電子・情報・システム部門大会, 2014 年 09 月 03 日 ~ 2014 年 09 月 06 日, 島根大学松江キャンパス (島根県・松江市)

清水拓巳, 小山裕昭, 千葉 亮, 元木 誠, 機械学習による自律行動を検証するためのキッズサイズ二足歩行ロボットの開発, 平成 26 年電気学会電子・情報・システム部門大会 , 講演論文集, PS1-8, pp.1769-1770 , 2014 , 島根大学松江キャンパス (島根県・松江市)

元木 誠, 機械学習による二足歩行ロボットの歩行時の転倒回避行動, 平成 25 年電気学会電子・情報・システム部門大会, 2013 年 09 月 04 日 ~ 2013 年 09 月 07 日, 北見工業大学 (北海道・北見市)

盧 俊, 元木 誠, パルスニューラルネットワークを用いた車輪型自律移動ロボットコントローラの 3D シミュレータによる検証」, 平成 25 年電気学会電子・情報・システム部門大会, 2013 年 09 月 04 日 ~ 2013 年 09 月 07 日, 北見工業大学 (北海道・北見市)

元木 誠, 「強化学習による二足歩行ロボットの歩行時の転倒回避行動」, 電気学会システム研究会, 2013 年 05 月 13 日, 新潟県立看護大学 (新潟県・上越市)

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

元木 誠 (MOTOKI, Makoto)

関東学院大学理工学部・准教授

研究者番号: 20440282

(2) 研究協力者

小山 裕昭 (KOYAMA, Hiroaki)

清水 拓巳 (SHIMIZU, Takumi)

千葉 亮 (CHIBA, Akira)

盧 俊 (LU, Jun)