

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 15 日現在

機関番号：32613

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21760337

研究課題名（和文） ソーシャルネットワークにおけるコミュニティ同定問題への
制御理論からのアプローチ

研究課題名（英文） Control theory approach to social network identification

研究代表者

小西 克巳（KONISHI KATSUMI）

工学院大学・情報学部・准教授

研究者番号：20339138

研究成果の概要（和文）：本研究では、制御理論で用いられるシステム同定手法を応用し、ソーシャルネットワークにおけるコミュニティを同定する手法の導出に取り組んだ。個人が他にどの程度影響を与えるのかを示すモデルとして、線形システムに基づくモデルが提案されており、コミュニティ同定問題を線形なハイブリッドシステム同定問題として扱うことで、コミュニティ同定手法を提案した。具体的には、行列ランク最小化手法を提案して、行列ランク最小化とスパース最適化を利用した線形ハイブリッドシステム同定手法を提案している。数値例により、提案手法の有効性を確認している。

研究成果の概要（英文）：This work focuses on the community identification problem in the social network and proposes a control theory approach to the problem. We utilize the influence network, where the dynamics of the social network is described as linear systems, and formulate the community identification problem as a linear hybrid system identification problem. This work proposes a matrix rank minimization and sparse optimization algorithm for the community identification. Numerical examples show the efficiency of the proposed algorithm.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、制御工学

キーワード：コミュニティ同定・ソーシャルネットワーク・制御理論・システム同定

1. 研究開始当初の背景

本研究におけるソーシャルネットワーク理論とは、個々人の関係をノードとエッジからなるグラフで表現し、個人同士がどのように関係し、どのような影響があるのかを議論する理論を指し、社会学の分野で古くから研究されている分野である。コミュニティ同定問

題とは、個人間の影響の強さから、個人が属するコミュニティを同定する問題で、グラフ理論や組合せ最適化問題の観点から数多くの研究が行われてきている。インターネット上でのソーシャルネットワークが注目され、インターネット上での個人間の影響等について研究が進められている。インターネット

利用者は膨大な数になるため、経済活動、政治活動、文化活動の観点から考えて、コミュニティを同定し、意見の集約や流行の予測が可能になれば、得られる利益は大きい。このような理由により、インターネット上でのコミュニティ同定は、Web データマイニングの分野では盛んに研究が進められている。

一方で、個人が他にどのように影響を与えるかを数学モデルとして、カリフォルニア大学の Friedkin らが提案する Social Influence Network がある。このモデルは制御理論で扱うことが可能な線形な状態方程式で書かれている。よって、制御理論ですでに提案されている様々な数学ツールを利用することで、ソーシャルネットワークにおけるコミュニティ同定問題の定式化と解法を与えることが期待されている。

2. 研究の目的

本研究では、ソーシャルネットワーク理論におけるコミュニティ同定問題に対し、制御理論からアプローチし、ソーシャルネットワークの動的モデルとコミュニティ同定手法を確立することを目的としている。具体的には、Social Influence Network Theory で与えられる数学モデルが制御理論で扱う線形な状態方程式であることに注目し、インターネット上のソーシャルネットワークで個人が他人に影響される数学モデルを構築し同定手法を導出する。さらには、最適制御の観点から多数の個人からコミュニティを同定する手法の提案を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、インターネット上のソーシャルネットワークの動的モデルの導出とコミュニティ同定手法を確立するために、以下の方法で研究を進める。

- ① Social Influence Network が与える数理モデルに基づき、個々のユーザー行動が他のユーザーにどのように影響を与えるかを表現する数理モデルを線形システムとして与える。
- ② システム同定の観点から、コミュニティ同定問題をシステム同定問題として定式化する。
- ③ 上記3で得られる設計問題の解法を与え、コミュニティ同定アルゴリズムを導出する。

4. 研究成果

(1) Social Influence Network は、ソーシャルネットワーク上の個人の行動が線形な状態方程式で表現されるため、制御理論で提案されるシステム同定手法を応用することで、観測データから、その動的モデルを同定可能である。しかしながら、モデル次数が未知で

あるために、簡単には同定することができない。そこで本研究では、行列ランク最小化手法を利用することで、モデル次数が未知の場合のシステム同定手法を提案した。本研究における主な成果は、膨大なデータに対しても高速に行列ランク最小化問題の近似解を与える NSAO 法 (Null Space based Alternating Optimization Algorithm) を提案したことである。NSAO 法は以下の行列ランク最小化問題に対する階を与える手法である。

$$\text{Minimize rank} X \text{ subject to } X \in \Omega \subset R^{m \times n}$$

(2) 次に、GPU への実装とアルゴリズムの並列化を行った。膨大な観測データに対しては、通常の CPU では計算が遅い。そこで本研究では NSAO 法を GPU 上に実装可能なアルゴリズムを与えた。この手法では、逆行列を利用しないアルゴリズムとなっている点が特徴であり、これにより、少ないメモリで大量のデータを扱えるという利点がある。さらに、提案手法を拡張し、複数の GPU 上で実行可能な並列アルゴリズムを提案した。GPU 用並列 NSAO アルゴリズムを表 1 に示す。ただし、 Φ は対角成分が 1 であるような行列の集合を表す。

表 1 Parallel NSAO-GPM for GPU

Algorithm 3 Parallel NSAO-GPM for GPU

Input: $X \in R^{m_p \times p m_p}$, γ , η

repeat

$G \leftarrow \text{ptimes}(X^T, X, p, n_p)$

$D_\Phi \leftarrow \gamma W + \text{ptimes}(G, W, p, n_p)$; $\tilde{D}_\Phi \leftarrow P_\Phi(D_\Phi)$

$\alpha_\Phi \leftarrow \text{Tr}(\text{ptimes}(\tilde{D}_\Phi^T, \tilde{D}_\Phi, p, n_p))$

$\alpha_\Phi \leftarrow \alpha_\Phi / \text{Tr}(\text{ptimes}(X^T, \tilde{D}_\Phi, p, n_p))$

$W \leftarrow W - \alpha_\Phi \tilde{D}_\Phi$

$G \leftarrow \text{ptimes}(W, W^T, n_p)$

$D_\Omega \leftarrow \text{ptimes}(X, G, p, n_p)$; $\tilde{D}_\Omega \leftarrow P_\Omega(D_\Omega)$

$\alpha_\Omega \leftarrow \text{Tr}(\text{ptimes}(\tilde{D}_\Omega^T, \tilde{D}_\Omega, p, n_p))$

$\alpha_\Omega \leftarrow \alpha_\Omega / \text{Tr}(\text{ptimes}(\tilde{D}_\Omega, W, p, n_p))$

$X \leftarrow X - \alpha_\Omega \tilde{D}_\Omega$

$\gamma \leftarrow \gamma / \eta$

until termination criterion is satisfied

where

function $\text{ptimes}(U, V, p, n_p)$

parallel for $i = 0$ to $p - 1$ **do**

parallel for $j = 0$ to $p - 1$ **do**

$U_{gpu} \leftarrow U(i n_p + 1 : (i + 1) n_p, :)$

$V_{gpu} \leftarrow V(:, j n_p + 1 : (j + 1) n_p)$

$G_{gpu} \leftarrow U_{gpu}^T V_{gpu}$

$G(i n_p + 1 : (i + 1) n_p, j n_p + 1 : (j + 1) n_p) \leftarrow G_{gpu} / g_{2c}$

end parallel for

end parallel for

return G

end function

Output: low-rank solution X

(3) 最後にソーシャルネットワーク上のコミュニティ同定手法を与えた。Social Influence Network を表す線形システムにお

いて、パラメータが同じ線形システムとして表現できる時、ソーシャルネット上で同じコミュニティに属していると定義し、コミュニティ同定問題を定式化した。この問題は、線形なハイブリッドシステム同定問題として定式化される。

本研究では、線形な状態方程式で表現される一般的なハイブリッドシステム同定問題を定式化し、解法を与えた。線形ハイブリッドシステム同定問題は、以下のような行列ランク最小化問題とスパース最適化問題の混合問題として定式化される。

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} \quad \text{rank} Y_i U^\perp + \lambda \|v\|_0 \\ & \text{subject to} \quad Y = Y_i + [\hat{y}_1 \quad \hat{y}_2 \quad \dots \quad \hat{y}_{T-r+1}] \\ & \quad \quad \quad v = [\|\hat{y}_1\|_2 \quad \|\hat{y}_2\|_2 \quad \dots \quad \|\hat{y}_{T-r+1}\|_2] \end{aligned}$$

ただし、行列 Y と U は、それぞれ出力信号と入力信号から作成される Hankel 行列である。この問題は組合せ最適化問題の一種であり、解くことが非常に困難である。本研究では、先に提案した NSAO アルゴリズムと、L0 ノルム最小化問題の解法として提案される IRLS (Iterative Reweighted Least Squares) 法を応用し、近似解法を提案した。提案手法を表 2 と表 3 に示す。

表 2

Algorithm 3 Identification of i th submodel.

Require: $Y, U^\perp, \gamma, \lambda, \eta, \varepsilon$
Set W to be an identity matrix
Set M to be an identity matrix
repeat
 $(Y_i, \hat{Y}) \leftarrow \arg \min_{(Y_1, Y_2)} g_{\gamma, \lambda, U^\perp}(Y_1, Y_2, W, M)$
subject to $Y = Y_1 + Y_2$
 $W \leftarrow \arg \min_W g_{\gamma, \lambda, U^\perp}(Y_i, \hat{Y}, W, M)$
subject to $W_{kk} = 1 \quad \forall k$
for $k = 1$ to $T - r + 1$ **do**
 $M_{kk} \leftarrow 1 / (\|\hat{y}_k\|_2 + \varepsilon)$
end for
 $n_i \leftarrow \text{rank} Y_i U^\perp$
until termination criterion is satisfied
Ensure: Y_i, \hat{Y}, n_i

表 3

Algorithm 4 Proposed algorithm.

Require: $Y, U^\perp, \gamma, \lambda, \eta, \varepsilon$
 $i \leftarrow 0$
repeat
 $i \leftarrow i + 1$
(a) Identify the i th submodel using Algorithm 3 and obtain Y_i and \hat{Y} .
(b) Find the index set Ψ such that the k th column of \hat{Y} nearly equals a zero vector if and only if $k \in \Psi$.
(c) Delete the k th column from Y and U for all $k \in \Psi$.
until \hat{Y} has no zero column vectors
 $N \leftarrow i$
Ensure: $N, Y_1, Y_2, \dots, Y_N, n_1, n_2, \dots, n_N$

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 8 件)

- ① K. Konishi, “Iterative Reweighted Least Squares Approach to Identification of Switched Affine Systems”, 37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2011
- ② K. Konishi, “PARALLEL GPU IMPLEMENTATION OF NULL SPACE BASED ALTERNATING OPTIMIZATION ALGORITHM FOR LARGE-SCALE MATRIX RANK MINIMIZATION”, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2012
- ③ 小西 克巳, “零空間アプローチによるアフィン制約付き行列ランク最小化問題の解法”, 計測自動制御学会第 40 回制御理論シンポジウム, 2011
- ④ 小西 克巳, “行列ランク最小化とスパース最適化による線形ハイブリッドシステム同定手法”, 計測自動制御学会制御部門大会, 2012
- ⑤ 小西 克巳, 坂本 亮, “並列 GPGPU を利用した大規模行列に対する行列ランク最小化問題の解法”, 第 74 回情報処理学会全国大会, 2012
- ⑥ Katsumi Konishi and Toshihiro Furukawa, “A Nuclear Norm Minimization Approach to Fractionally Spaced Blind Channel Equalization”, IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2010
- ⑦ Katsumi Konishi, “Reweighted l1-norm Minimization Approach to Matrix Rank Minimization for System Identification”, 計測自動制御学会制御部門大会, 2011
- ⑧ K. Konishi and H. Kato, “A system

identification method with roughly
quantized data using semidefinite
programming”, 35th Annual Conference of
IEEE Industrial Electronics, 2009

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小西 克巳 (KONISHI KATSUMI)

研究者番号 : 21760337