

Rete アルゴリズムを用いた 家庭内エネルギー管理システムにおける処理割り当て方式の検討

A Process Allocation Method on Home Energy Management System Using the Rete Algorithm

川上 朋也†
Tomoya Kawakami

義久 智樹‡
Tomoki Yoshihisa

藤田 直生†
Naotaka Fujita

塚本 昌彦†
Masahiko Tsukamoto

1. はじめに

近年、スマートフォンなどの携帯端末を含め、センシング機能をもつさまざまな機器が普及している。これにより、家庭内でも状況を把握するための情報を容易に収集することができ、いわゆる「スマートホーム」を実現できる。スマートホームにおいては、センサデータなどから推定された状況に基づき、QoL (Quality of Life) を下げずに電化製品を制御することで節電を行う Home Energy Management System (HEMS) が期待される。冗長なエネルギー消費を抑えるために各家庭でも電力消費の抑制が求められ、HEMS は特に多くの注目を集めている。

現在、電力制御を行うルールベースの HEMS が数多く提案されている。これら既存手法の多くは IF-THEN 形式のルールを想定しており、我々の研究グループでも関連する手法を提案している[1]。IF-THEN 形式のルールはプロダクションシステム[2]によって扱うことができ、代表的な照合アルゴリズムに Rete アルゴリズムがある[3]。また、Rete アルゴリズムの処理を複数のコンピュータで行う手法も提案されている[4]。将来的には家庭内にさらに多数かつ密な電化製品やセンサの設置が予想され、この分散処理モデルは可用性やスケーラビリティの点で有効であると考えられる。しかし、既存手法は Rete アルゴリズムの一部の処理を分散させることを目的としており、特定のコンピュータに負荷が集中する可能性がある。

本研究では、Rete アルゴリズムを用いたルールベースの HEMS を提案する。提案システムでは、電化製品やセンサの情報をネットワーク上の「スマートタップ」と呼ばれる機器に分散させる。スマートタップはコンセントと電化製品の間に接続し、消費電力の計測や供給電力の制御、特定のコンピュータプログラムの実行などを行う。本研究ではスマートタップが状況に応じて電化製品への電力を制御し、状況の把握はルールに基づいて行う。ルール処理およびデータ収集による負荷は、各スマートタップで分散させる。また、Rete アルゴリズムに基づいてルールを処理することで、処理およびデータ収集の回数を削減する。本研究では、スマートタップへの処理割り当て方式についても述べる。

2. Rete アルゴリズム

IF-THEN 形式のルールに基づいて推論するプロダクションシステムは、ルールを記憶するプロダクションメモリ

```
for electrical_appliance_in_entrance e,
  sensor_data_in_living_room s
if e.type = "light" and
  e.status = "OFF" and
  s.type = "human detection" and
  s.value = true
then
```

図 1: 擬似コードによるルールの例

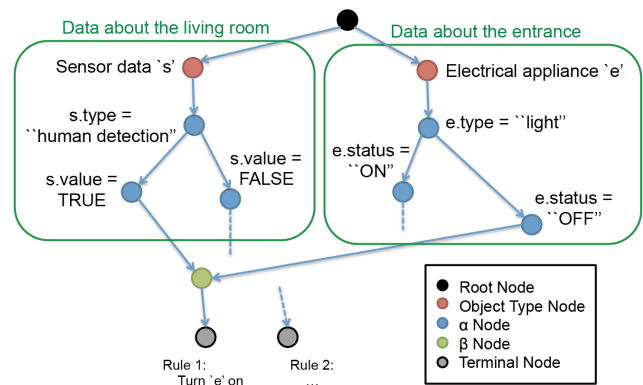


図 2: ルールから生成される Rete ネットワーク

(PM), ワーキングメモリエlement (WME) と呼ばれるデータを記憶するワーキングメモリ (WM), 推論エンジンと呼ばれる制御プログラムから構成される。

プロダクションシステムでは条件照合の高速化に関するさまざまな研究が行われており、Forgy によって提案された Rete アルゴリズムは代表的な条件照合アルゴリズムである[3]。Rete アルゴリズムは、Rete ネットワークと呼ばれるグラフ構造をルールに基づいて作成する。Rete ネットワークでは、入力データをルールの条件によってフィルタリングする節 (ノード) を α ノード、 β ノードと呼ぶ。 α ノードは、1 つの親からの入力データを条件によってフィルタリングする。一方、 β ノードは、2 つの親からの入力データを結合し、結合データを条件によってフィルタリングする。この β ノードにおける処理は“join”と呼ばれる。これら α ノード、 β ノードで条件を満たしたデータは下流のノードへ送られる。Rete アルゴリズムは α ノードや β ノードでの条件照合において、条件を満たすデータあるいはデータの組合せを、それぞれ α メモリ、 β メモリとして記憶しておき、データが追加や削除された場合に必要となる条件照合処理を削減している。

Rete アルゴリズムについて、図 1 に示したルール例を用いて説明する。図 1 は「居間に人が存在すれば、玄関の電灯を点ける」というルールである。図 1 のルールから生成

†神戸大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Kobe University

‡大阪大学サイバーメディアセンター

Cybermedia Center, Osaka University

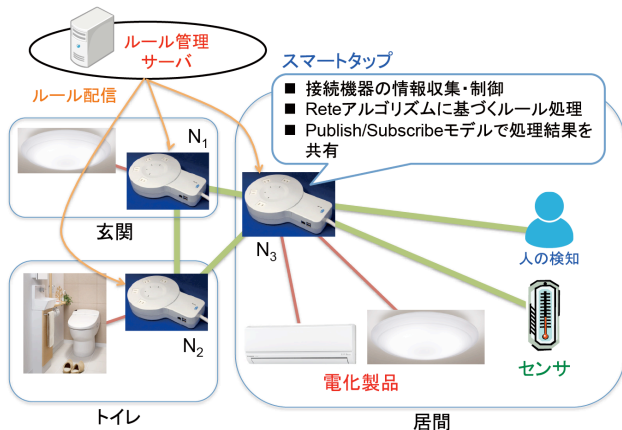


図 3：システムモデル

される Rete ネットワークを図 2 に示す. ルールを満たすコンテンツの抽出は, 図 2 の最上流に“Root Node”で示したノードから電化製品やセンサのデータを流すことで行われる. データはまず種類に応じて, 下流の Object Type ノードと呼ばれる“sensor data s ”, “electrical appliance e ”へと振り分けて流される. 同様に各ノードで示した条件を満たすデータのみをさらに下流のノードへ流すことで, 最終的にルールを満たすデータの組みが図 2 の最下流に“Terminal Nodes”で示したノードに流される. Terminal Node はルールごとに存在し, ルールを満たすデータは対応する Terminal Node を確認することで取得できる. 図 2 の Terminal Node では, 左側に「居間に人が存在し, 点いていない玄関の電灯」のデータが流される. このとき, α ノード, β ノードには, 処理結果がそれぞれ記憶されている. 例えば, 「居間に人が存在しない」という条件を含むルールを新たに追加する場合, “ $s.value = FALSE$ ”で示した α ノードの下流にノードを追加することでこの α ノードがもつ α メモリの内容を取得でき, 共通する条件に対する処理を抑制できる.

Rete アルゴリズムを分散環境の Publish/Subscribe (Pub/Sub) システムへ適用した手法として, DHT (Distributed Hash Table) の一種である Chord[5]を用いた手法が提案されている[4]. 文献[4]では WME の主語, 述語, 目的語をそれぞれ Key とし, 購読者のリストを Value として Chord で分散管理する. すなわち, 1 つの WME につき, Key と Value の組を Chord に 3 つ登録する. また, 多用される Key を担当するピアの負荷を分散するため, WME が有効となる時間的な情報 (期間) を Key に付加することを議論している. しかし, すべての WME が時間的な情報を持つとは限らず, 時間的な情報の付与および Chord 上での探索について具体的な手法を示していない. また, 文献[4]は Pub/Sub システムにおいて α メモリを共有することを目的としている. そのため, Rete アルゴリズムにおける join 処理は複数の α メモリを購読するコンピュータ自身が行い, 処理結果の β メモリは共有されない. つまり, 共通の join 処理が含まれるルールを複数コンピュータが用いる環境では, 処理に必要なデータを各コンピュータが個別に収集する. 収集するデータには join 処理により無効と判断されるデータも含まれ, 冗長な通信が発生することになる.

3. Rete アルゴリズムを用いた家庭内エネルギー管理システム

本研究では, Rete アルゴリズムを用いた HEMS を提案し, 処理の割り当て方式について述べる.

3.1 システムの概要

提案システムでは電力制御を行うルールはネットワーク上のスマートタップで処理し, ルール処理および必要なデータを収集するための負荷を各スマートタップで分散させる. また, Rete アルゴリズムに基づいてルールを処理することで, 処理やデータ収集の回数を削減する. 提案システムでは, 複数の処理結果を結合する β ノードの処理結果もスマートタップ間で共有する.

提案システムのモデルを図 3 に示す. 提案システムでは N_1, N_2, N_3 で示すようなスマートタップを家庭内に設置し, スマートタップはネットワーク経由で相互に情報の送受信を行う. 電化製品は近隣や同じ部屋のスマートタップに接続し, スマートタップは接続された電化製品に対して消費電力などの計測や給電, 制御を行う. 状況を把握するために用いるセンサ機器はネットワークやスマートタップに接続し, 観測データを他の機器へ送信する. スマートタップは電化製品やセンサ機器から情報を収集し, Rete アルゴリズムに基づいて IF-THEN ルールを処理する. ルールの処理結果もスマートタップが記憶し, Pub/Sub モデルで共有する. ルールについては, ネットワーク上の特定のコンピュータが統合的に編集するものとし, 更新があった場合にはスマートタップにルールを配信することで, すべてのスマートタップ間でルールの整合性を維持する.

3.2 スマートタップへの処理割り当て方式

本研究では, ルール処理および処理結果の記憶はルールの動作部に関係するスマートタップに割り当てる.

図 1, 2 の例におけるルール処理の流れを述べる. 図 1, 2 の例では, 図 1 のルールの動作部は玄関の電化製品に関連するため, 玄関のスマートタップ N_1 がルールを処理する. まず, スマートタップ N_1 は接続された電化製品のうちで “ $type = light$ ” かつ “ $status = OFF$ ” の電灯が存在するかを確認し, ルール処理に必要なデータを居間のスマートタップから収集する. 図 2 の例ではスマートタップ N_3 が居間にあり, N_1 は図 1 の “ $s.type = TRUE$ ” に関連するデータの配信を N_3 に要求する. N_3 は要求されたデータを処理結果で確認し, 該当するデータを N_1 へ配信する. 要求されたデータを N_3 が保持していない場合, N_3 は関連するセンサ機器から情報を収集し, N_1 への送信および処理結果の記憶を行う. N_1 は “ $e.status = OFF$ ” および N_3 から受信した “ $s.value = TRUE$ ” に関係するデータを結合し, すべての条件を満たしていれば電灯 e を点ける. N_1 は処理結果を記憶し, 状況に変更があった場合は, ルールで影響する箇所にも反映することで最新の結果を維持する.

4. まとめ

本研究では, Rete アルゴリズムを用いたルールベースの家庭内エネルギー管理システム (HEMS) を提案した. 提案システムでは, 電力制御のためのルールをネットワーク上のスマートタップが処理し, ルール処理およびデータ収集の負荷が分散される. また, Rete アルゴリズムに基づいてルールを処理することで, ルール処理およびデータ収集

の回数が削減される。さらに本研究では、スマートタップへの処理割り当て方式についても述べた。

今後の課題については、提案システムおよび処理割り当て方式をさまざまな環境で評価することが挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、科研費（23680007）、および、独立行政法人情報通信研究機構（NICT）の委託研究「情報通信・エネルギー統合技術の研究開発」の助成による成果である。

参考文献

- [1] T. Yoshihisa, N. Fujita, and M. Tsukamoto: A Rule Generation Method for Electrical Appliances Management Systems with Home EoD, Proceedings of the IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2012), pp.253-255 (2012).
- [2] 小林重信：プロダクションシステム，情報処理，Vol.26, No.12, pp.1487-1496 (1985)
- [3] C. L. Forgy: Rete: A Fast Algorithm for the Many Patterns/Many Objects Match, Artificial Intelligence, Vol.19, No.1, pp.17-37 (1982).
- [4] D. Liu: Rule Engine Based on Improvement Rete Algorithm, Proceedings of the International Conference on Apperceiving Computing and Intelligence Analysis (ICACIA), pp.346-349 (2010).
- [5] I. Stoica, R. Morris, D. Liben-Nowell, D. R. Karger, M. F. Kaashoek, F. Dabek, and H. Balakrishnan: Chord: A Scalable Peer-to-Peer Lookup Protocol for Internet Applications, IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol.11, No.1, pp.17-32 (2003)