

住人の行動スケジュールに着目した 家庭内電力パケット配電シミュレータ

2013SE033 橋本紗苗 2013SE087 小林美稀 2013SE213 田辺悠里

指導教員：蜂巢吉成

1 はじめに

2016年の4月より電力の小売自由化が始まり、様々な業界の会社が電力の小売業の参入に乗り出している。一般家庭でも利用する電力の多様化が進み、電力に情報を持たせ供給先や供給源を明確化出来る電力パケットについての研究が行われている[1]。しかし、電力パケットルータの実現方法など、ハードウェア的な研究が多く、ルーティングアルゴリズムなどのソフトウェアの観点からの研究は少ない。われわれの研究室では、家電に少量の電力を蓄えるバッファと優先度を設けることで、一般家庭で適切な配電ができると考え、電力パケット配電シミュレータを作成して確認した[2]。

どの家庭でも滞りなく電力供給を行うための適切なバッファサイズ、ルーティングアルゴリズム等を考察するために、様々な一般家庭の状況でシミュレーションを行う必要がある。[2]のシミュレータでは、住人の家庭での部屋の移動に基づいて、家電を操作していた。住人はスケジュールに従って部屋を入退室し、部屋に入室するとその部屋のすべての家電の電源をONにし、退室するとOFFにしていた。間取り、家電の配置、スケジュールを変更することで、複数の家庭をシミュレーションできるが、変更点が多く手間がかかる。また、複数の住人が同時に同じ家電を利用したときの家電の動作が定義されていないので、現実的な家電の動きを実現できていない。スケジュールは常に同じ時刻に同じ部屋の入退室を行うものとして記述されており、時間のゆらぎなどの不確定要素が扱えない。

本研究ではより現実的な家電の操作を実現し、様々な一般家庭の状況に対応したカスタマイズ可能な電力パケット配電シミュレータの実現を目的とする。家によって間取り、家電の配置、種類、数、住人の構成が異なる。住人は行動を通して家電を操作し、住人によって家電を使う場面も異なる。[2]の変更に手間がかかるという問題点に対して代表的な住人の行動の流れを行動スケジュールとして抽象化し、再利用可能な要素として実現することで解決する。行動スケジュールにおいて、確率を用いて行動の選択、開始時刻、終了時刻や家電の稼働時間を決定することで、より現実的な家電の稼働状況のシミュレーションを可能にする。実験を通して、本シミュレータの実用性や妥当性を確認する。

2 関連研究

電力パケットとは、大量の電力を小さく分割し、分割した電力それぞれに供給源や供給先などの情報を付加することにより、指定した電源から電力が適切に伝送される技術

である[1]。引原らによって電力パケット交換装置の研究[1]が行われ、非同期によるパケット伝送系や、電力パケット伝送ネットワークが提案されている。

村井らの研究[2]では、一般家庭内で電力パケットによる配電を行うシミュレータを作成し、電力パケットや家電が持つべきバッファサイズ、電力パケットが実現する際に必要となってくるパケットサイズについて考察している。このシミュレータでは、住人の行動を部屋の移動としてとらえており、部屋を登録し、住人ごとに使用する部屋の入退室の時間を記述する必要がある。住人の行動を他の家の状況で動かす際に変更箇所が多く手間がかかる。

山崎らの研究[3]では、家庭向け電力消費シミュレータを実現している。タイムスケジュールと家電の配置を変更していくことで、電力量の削減や電気料金の見直しを目的としている。この研究のシミュレータでは、家の間取りや家電の登録画面が画像として表示される仕様となっており、[2]の研究よりユーザインタフェースを重視した構造となっている。しかし、家電の稼働開始時刻と終了時刻、家の間取りを登録する必要がある。家の状況が変わったときに変更箇所が多く手間がかかる。

3 行動スケジュール

3.1 住人の行動と家電

文献[2]と[3]の問題点を踏まえ、住人の行動に着目し、他の家の状況に変えたときの変更箇所を減らし、入力の手間を省きたい。家庭内における住人の行動とそれに基づく家電の操作について考察する。シミュレーションでは、家があり、部屋があり、住人が行動に沿って部屋を移動し、家電を操作するという状況が想定される。冷蔵庫等の住人の行動に関わらず常に電力を消費する家電を除いて、各家電は住人の行動に基づいて状態が切り替わり電力を消費する。また、家電の組み合わせ等の家の状況が異なる場合においても、起床や食事等の住人の基本的な行動の流れ自体は変わらない場合が多いので、本研究では住人の行動の流れを再利用可能な要素として実現する。住人の行動をシミュレータ上の一つの要素として実現することで、[2]や[3]のシミュレータの問題点を解決できると考える。

3.2 住人の行動

本研究では、起床、調理、食事、片付け、くつろぎ、勉強、仕事、洗濯、掃除、外出、入浴、就寝の行動を扱う。各行動をオブジェクトとして扱い、各行動でオン・オフなどの状態が切り替わる可能性がある家電とその状態が切り替わる確率を登録する。家電の状態の切り替えや稼働時間に

確率の要素を加えることで、家電の稼働状況を住人の行動に基づいた不確定要素として扱うことができ、より現実的なシミュレーションになる。行動も様々な家の状況に対応する構造にすることで再利用を可能にする。

3.3 住人の行動スケジュール

住人の行動スケジュールは、シミュレーション開始から終了までの住人の一日の行動の流れである。午前 10 時から午前 11 時まで外出というように各行動には開始時刻、終了時刻がある。「会社員(平日)」、「主婦(休日)」というように様々な住人の行動スケジュールをあらかじめ登録し、家にある家電の種類が異なる様々な家の状況に対し、行動スケジュールを再利用するというシミュレーションを想定している。複数の行動スケジュールを組み合わせて様々な家庭のパターンをシミュレーションできる。同じ住人でも日によって、行動が異なり、行動の開始、終了時刻もずれることが想定されるので、アクティビティ図を基に確率を追加する。行動スケジュールを表現する際に、次の 3 つを用いた。

- 連続 (図 1)
調理、食事、片付けのように順序関係が必要な場合がある。このように行動の流れが決まっているものを一つの複合体として考える。
- 分岐 (図 2)
分岐を表す。分岐先の確率は合計で 100 % になる。
- 並列 (図 3)
日常生活において、洗濯を行う際に住人は洗濯の行動のみならず、他の行動も同時に実行する。よって、複数の行動を並行に実行する場面において使用できると考えた。分岐先の確率は合計 100 % になるとは限らない。

住人の種類としては主婦(主夫)、会社員、学生、子どもの 4 種類を用意し、各住人の平日と休日の行動スケジュールを用意する。例として、会社員(平日)の行動スケジュールの一部を図 4 に示す。複数の行動スケジュールを組み合わせることで夫婦や 4 人家族等の様々な家庭を実現する。

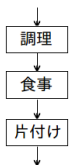


図 1 連続

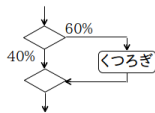


図 2 分岐

4 シミュレータの設計・実現

4.1 シミュレータの概略

家庭を変更しても、行動スケジュールが再利用可能で、家電の変更も容易な構造にすることを設計の指針とした。本シミュレータでは、住人が行動を通して家電の状態を切り替えることで家電の操作を実現している。各行動は行動

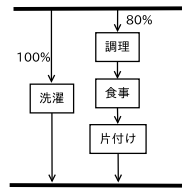


図 3 並列

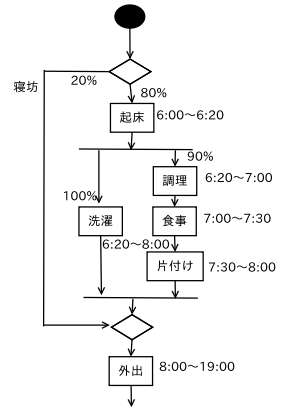


図 4 会社員(平日)

開始時刻、終了時刻を持っており、正規乱数を用いることでそれらを実生活のように前後させた。行動ごとに状態が切り替わる可能性がある家電の種類、状態、確率を登録し、それに基づいて家電が稼働する。例えば、「洗濯」の場合、「洗濯機、ON、100 %」等が想定される。シミュレータの利用者が各住人の行動スケジュール、各行動で状態が切り替わる可能性がある家電を登録する必要があるが、家電と住人の関連が疎になっているので、行動スケジュールに関しては再利用や拡張が容易である。シミュレータのクラス図を図 5 に示す。

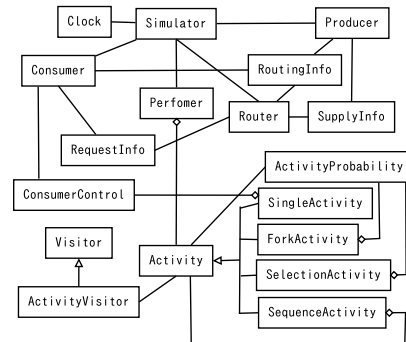


図 5 シミュレータのクラス図

4.2 行動スケジュール

図 4 の行動スケジュールの一部を図 6 のようなオブジェクト図で表したとき、再帰的な木構造になるので Composite パターンを利用した。本研究では、Composite パターンにおける中身を表す役として SingleActivity クラス、容器を表す役として分岐を表す SelectionActivity クラス、並列を表す ForkActivity クラス、連続を表す SequenceActivity クラスを実装した。分岐や並列の場合、各行動が確率を持つ必要がある。Activity オブジェクトと確率から構成される ActivityProbability クラスを設計し、SelectionActivity、ForkActivity クラスを ActivityProbability オブジェクトの集約として設計した。

行動スケジュールを実行する処理の実装にあたって、行動スケジュールをシミュレーションループ前に決定する静的な方法とシミュレーションループ中に決定していく動的

な方法を考えた。動的な方法では、正規乱数で決定した行動の時刻がシミュレーション時刻を過ぎてしまう可能性があり、時間の管理が複雑になる。本研究では静的な方法で行動スケジュールを決定する。行動スケジュールが木構造で表せること、再帰的な集合体を順番に処理する場面に適しており、Composite パターンに適用しやすいことから Visitor パターンが適していると考えた。シミュレーションループ前に ActivityVisitor オブジェクトで、各行動の開始終了時刻、並列や分岐で実行される行動を決定し、家電の稼働時刻を調整していくことで行動スケジュールを直列化する (図 7)。

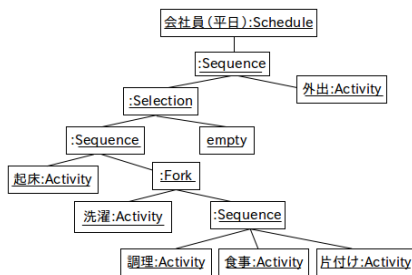


図 6 行動スケジュール (オブジェクト図)

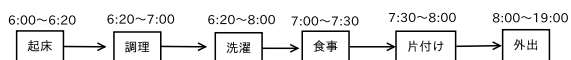


図 7 行動スケジュールの直列化

4.3 行動

本シミュレータでは、汎用性を高める構造にするために家電と行動との関係を疎にしたい。行動を表す SingleActivity クラスは ConsumerControl クラスを介して家電を表す Consumer クラスにオン・オフの状態を渡す。住人は行動スケジュールに沿って行動し、行動ごとに登録された家電の状態を切り替えるので、SingleActivity クラスに ConsumerControl オブジェクトのリストを持たせた。家電の状態を渡す際に住人同士の家電の使用時間が重なった場合、家電に定義された分類ごとに稼働開始時刻、終了時刻の調整を行うのも ConsumerControl クラスの役割である。

4.4 家電

家電は電力をパケットで受け取って稼働し、電力を蓄えておける小規模なバッファを持つ。家電はオンのとき、バッファの電力が少なくなると、ルータに電力を要求する。家電にはそれぞれ優先度がつけられており、「特」、「高」、「中」、「低」の 4 段階である。ルータは要求に基づいて家電に電力を送る。複数の家電から電力要求があるときは、優先度等に基づいて配電する家電を決定する。家電を次のように分類した。

- 住人が直接オン・オフを切り替える家電...ドライヤー、照明、PC、TV、掃除機

- オンのみ住人が切り替える家電... 食器洗浄機、電子レンジ、炊飯器、トースター、洗濯機
- 常に電力を消費する家電... 冷蔵庫、電話

複数の住人が同じ家電を使用するとき使用時間が重なる場合が想定されるので、調整が必要である。家電の稼働時間の調整を行うにあたって、複数の住人が同時に使用することが不自然な家電や不自然ではない家電がある。家電の特性ごとに TV 等の「稼働時間が重なってもよい家電」、ドライヤー等の「稼働時間が重なったら稼働時間をずらす必要がある家電」、炊飯器等の「稼働時間が重なったら 1 人目の切り替えのみを行う家電」の 3 つに分類した。複数の住人の家電の使用時間が重なった場合、ConsumerControl クラスで家電の分類ごとに処理を行う。

4.5 シミュレーションの流れ

本研究のシミュレーションの流れを以下に示す。

1. 家電、行動スケジュールなどの初期化
2. ActivityVisitor オブジェクトで行動スケジュールを辿り、実行される行動、行動開始時刻、終了時刻を決定し行動スケジュールを SingleActivity オブジェクトのリストとして直列化する。
3. シミュレーションループ開始
 1. Producer オブジェクトが発電し、Router オブジェクトに供給可能な電力の情報 (SupplyInfo) を送る。
 2. Performer オブジェクトが SingleActivity オブジェクトに登録されている家電の状態を切り替える。ConsumerControl オブジェクトが家電の分類ごとに調整の処理を行う。
 3. 家電 (Consumer) が Router オブジェクトに電力を要求する (RequestInfo)。
 4. Router オブジェクトが電力パケットの配電を行う。
 5. 家電 (Consumer) が電力を消費する。
4. 消費電力、稼働時間、稼働率の合計を出力する。

5 実験

様々な家庭で電力パケットによる配電が可能であるかを確認するために実験を行い、電力パケットが持つパケットサイズや家電が持つバッファサイズについて考察する。

5.1 実験の前提

- 家電の電源がオンの時間に対して家電が実際に電力を消費した時間の割合を稼働率とする。
- 実験における家電の優先度と消費電力を表 1 に示す。

5.2 実験 1: パケットサイズ

パケットサイズがどの程度あれば、家電に安定して電力供給ができるかを考察する。実験を行う家庭は、平日の会社員の 1 人暮らし、平日の会社員 + 主婦の 2 人暮らし、平

表 1 家電の優先度と消費電力

家電	優先度	消費電力	家電	優先度	消費電力
ドライヤー	低	800-1200W	掃除機	低	1200W
炊飯器	特	300-700W	トースター	低	1000W
PC	特	50-150W	冷蔵庫	特	150-600W
TV	中	150W	電子レンジ	中	1300W
食器洗浄機	高	1300W	照明	中	100W
洗濯機	高	500W	電話	特	5W

表 2 優先度とパケットサイズごとの平均稼働率 (4 人家族)

	60J	70J	75J	80J
特	100 %	100 %	100 %	100 %
高	99 %	99 %	99 %	100 %
中	98 %	100 %	100 %	100 %
低	67 %	86 %	96 %	99 %

日の会社員 + 主婦 + 子ども + 学生の 4 人家族で、バッファサイズを炊飯器はパケットサイズの 2 倍、その他を 1.5 倍、パケット周期 20 msec に固定する。

会社員 1 人暮らしでパケットサイズ 40J, 45J, 50J, 60J, 2 人暮らしでパケットサイズ 40J, 50J, 60J, 70J, 75J, 4 人家族で 60J, 70J, 75J, 80J で実験した。4 人家族における家電の優先度ごとの平均稼働率を表 2 に示す。会社員 1 人暮らしでは 60J, 2 人暮らしと 4 人家族では、75J で優先度「低」の家電の最低稼働率が 80 % 以上という結果になったので、最低でもパケット周期 20 msec ならパケットサイズ 75J は必要になることがわかった。パケット周期 20 msec, パケットサイズ 75J の電力パケットは現在の一般家庭では 100V, 37.5A に相当し、実現可能な範囲内だと言える。70J と 75J で優先度「高」の平均稼働率が「中」より低くなっているのは、消費電力が大きい食器洗浄機の稼働時間が長く、消費電力が高いドライヤーと稼働時間が重なる等の理由で、食器洗浄機の稼働率が平均 98 % になるからである。

今回の実験で本シミュレータで様々な行動スケジュール、複数の住人の動きを再現できることを確認した。

5.3 実験 2: バッファサイズ

バッファサイズの変更が稼働率にどの程度影響を与えるかを考察する。実験 1 で、4 人家族の家庭でパケット周期 20 msec でパケットサイズ 60J のとき、稼働率が低かった家電のバッファサイズを変更し、稼働率が改善されるかを実験する。実験を行う家庭は、実験 1 の 4 人家族で、パケット周期 20 msec とする。

バッファサイズをパケットサイズの 2 倍、3 倍に変更して実験した。変更前は掃除機とトースターの稼働率が平均 67 % だったが、変更後はどちらの場合も 97 % となった。バッファサイズが大きいと家電が常に余裕を持った状態で電力パケットを要求するので、より安定して家電が稼働することを確認した。

6 考察

本研究では住人の行動をシミュレータの要素として実装し、住人の行動スケジュールから家電の状態が切り替わる

仕様となっている。さらに、住人の行動スケジュール自体を不確定要素として扱うことで、日によって異なる住人の動きを実現できた。[2] や [3] の研究では、様々な家の状況でシミュレーションを行う際の入力の手間を問題点として挙げていた。家の状況を変えてシミュレーションを行う場合に、[2] では部屋、部屋ごとに設置されている家電、住人が部屋の入退室を行うスケジュール、[3] では部屋の間取り、部屋ごとに設置されている家電、各家電の稼働開始時刻・終了時刻を最低限変更する必要がある。それに対し、本シミュレータでは行動スケジュールを再利用可能な要素として扱っているため、家の状況を変えた場合でも最低限変更が必要になるのは家電だけである。既に登録してある行動スケジュールを再利用する際には時間や手間がかからない。家電の開始終了時刻を記述しなくても、行動スケジュールを用いることで、2 つのシミュレータと比べ、より少ない入力で現実的な家電の動きを実現することができた。

本シミュレータでは Simulator クラスに行動スケジュールの木構造を記述する仕様となっており、可読性が低く、どのような行動スケジュールになっているのか把握しづらい。シミュレータの利用者が誤って意図した行動スケジュールと違うものを記述していた場合でも気づかない可能性があるという問題点がある。これに関しては、DSL 等を利用して木構造を分かりやすく記述することで改善できると考えるが、今後の課題である。

7 おわりに

本研究では、現実的な家電の動きを実現するために、住人の行動スケジュールを新たに設計・実現し、スケジュールから家電の状態を切り替えるシミュレータを作成し、実験を行った。なお、住人の行動に不確定要素を加え、より現実的なシミュレーションを実現した。本シミュレータでは、住人の行動スケジュールと家電の関係が疎であるので、再利用しやすく、様々な家庭でのシミュレーションを行うことが容易にできる。

今後の課題は、DSL 等を利用してシミュレータ利用者が行動スケジュールの登録をしやすくすること、シミュレーション結果をアニメーションなどで可視化すること、わかりやすいユーザインタフェースを実現することである。

参考文献

- [1] 引原隆士：電力のパケット化とルーティング技術，情報処理学会論文誌，Vol.51，No.8，pp.943-950(2010)。
- [2] 村井直史，中島進太郎：電力パケット網における家庭内電力分配シミュレータの設計，南山大学情報理工学部 2014 年度卒業論文。
- [3] 山崎智美，紫合治：家庭に於ける電力消費シミュレータ，情報処理学会第 75 回全国大会，pp.213-214(2013)。