

# 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

2011SE177 村井直史 2011SE190 中島進太郎

指導教員：蜂巢吉成

## 1 はじめに

日本では 2016 年を目処に電力販売の自由化の決定や、太陽光発電などの自家発電装置、電気自動車など蓄電装置の普及により一般家庭でも利用する電力の多様化が進んでいる。これにより、電力の供給のパターンが増えてきており、電力の供給元や供給先をはっきりさせる必要性が出てきている。しかし、現在の電力供給システムでは電力の供給先と供給元をはっきりさせることができず、このことから、電力の情報化が必要になってきている。

電力をパケット化し、それぞれに情報を持たせることで、電力の供給先、供給元を知ることができるという電力パケットについての研究が京都大学の引原教授によってなされている。[1]では、ルータの物理的な伝送方法に関する研究であり、パケットによる電力の供給が実現された後のことについては研究がなされていない。

本研究では電力パケットを実現するためのハードウェアに関しては扱わず、ハードウェアが完成した後、実際電力パケットが実現した際に、一般家庭で生活水準を保ったまま暮らせるか、一般家庭に支障をきたさないかを確認するためのシミュレータを作成することを目的とする。一般家庭 1 戸を対象とし、家電にはどの程度電力を蓄える必要があるのか、パケットは一度にどれだけの電力量を送る必要があるのかを考察するための実験を行う。

本研究の対象である一般家庭 1 戸で起きる電力消費は、生活する人の行動によって、時間とともに変化するものであると考えられる。対象がこれらの不確定要素を含んでいることから時間による変化を考慮しない静的な計算で評価することは適切ではない。本研究ではこれらの不確定要素をパラメータとして扱うことが出来るシミュレータを作成し、そのシミュレータを用いてバッファサイズ、パケットサイズについての考察を行う。

## 2 関連研究

電力パケット実現のために、電力パケットによる電力の配分を可能とする電力パケット交換装置の研究、供給源と需要側とのやり取りを行う通信制御の研究、電力を分配するための配電アルゴリズムの研究の 3 つが行われている。既存の研究では電力のパケット交換装置、通信技術に関する研究が進められており、配電アルゴリズムに関する研究が少ない。よって本研究ではルータが実現したものと、その際の家電のバッファサイズ、パケットサイズ、配電アルゴリズムについてのシミュレーションを行えるシミュレータを開発することを目的とする。

## 3 シミュレータの要求定義

### 3.1 シミュレータの登場人物

本研究のシミュレータは電力のパケット化が実現した際の一般家庭 1 戸を想定しているため、その際に存在する次のものが登場人物となる。

- 電力の供給元

電力のパケット化の利点の 1 つとして電力の供給元が分かるということがあり、また、電力の多様化が進んでいるという研究背景から複数存在させるべきである。以上の理由より商用電力、太陽光パネルの 2 つを登場人物とする。

- 電力を消費する家電

一般家庭には多くの家電が存在するが、そのすべての家電をシミュレートするのは困難である。家電をいくつかの項目で分類分けし、各項目に合った家電を登場人物とする。家電は消費電力、バッファサイズ、優先度という変更可能な要素を持つものとする。これらの要素はシミュレータで登録を行うものとする。家電に対しては優先度が高いものから順に電力の供給を行うものとする。家電は次のように分類を行う。

- 常時電源が入っているもの… 例、冷蔵庫
- 電力消費の大小が激しいもの… 例、炊飯器
- 安定した電力供給を必要とするもの… 例、PC、炊飯器(炊飯時)
- 不安定な電力供給を許容できるもの… 例、冷蔵庫、TV
- 電力消費が大きいもの… 例、電子レンジ、掃除機

本研究では、上記の分類分けに基づいて冷蔵庫、PC、TV、電子レンジ、炊飯器、掃除機、洗濯機、の 7 つの家電を扱ってシミュレーションを行う

- 蓄電器

商用電力、太陽光パネルの電力を一時的に蓄電できるものであり、必要に応じて家電に電力を供給させるものとして登場させる。

- 天候

太陽光パネルによる発電量の変化に影響を与える。現在の天候は太陽光量の変化によって表現を行う。

- ルータ

各家電から優先度、必要な電力量、供給源からは供給可能な電力量を受け取り、電力をどこからどこへ分配させるかを決定する中央制御装置である。

- 人間

行動パターンによって使用する家電の決定を行うために登場する。

### 3.2 想定している電力パケット

- ルータが各家電、供給源から情報を受け取り、電力を分配し終わるまでにかかる時間を 10ms とする。この時間は 60Hz の交流電流を想定した場合、現在の生活でも家電が切れている時間がこの時間になるためである。
- ルータが 1 度の送電に際し、つなぐことが出来るのは家電と供給元各 1 台ずつとする。現在の想定では開発段階の電力パケットルータがそれぞれ 1 台ずつをつなぐ想定であるからである。
- 各家電にはバッファが存在し、短時間ならば受け取った電気を自身で蓄え使用することが出来る。コンピュータのような切れてよい時間が極端に短い時間の家電を使用する場合に、一度に 1 台しか送れないという想定では確実に破綻が起きることが想定されるからである。
- 一度の供給で 1 台の家電に対してのみにしか電力を供給できない想定上、家電には優先度を設定し、優先度に被りは無いものとし、電力の供給の際、供給先の家電を一意に確定できるものとする。
- 電力パケットの最大サイズとしては直流 24V、100A の 2400W の大きさを想定している。

### 3.3 人間のモデルと行動パターンについて

時間によって変化する人間の行動パターンを設定しそれに伴い家電の電源を ON、OFF させるものとする。これは家電が人間が使うものであり、どのような使われ方をするかによって消費電力の合計が変化するためである。人間は会社員と主婦の 2 人暮らしとし、人間の行動パターンは図 1 のようにアクティビティ図として表現する。

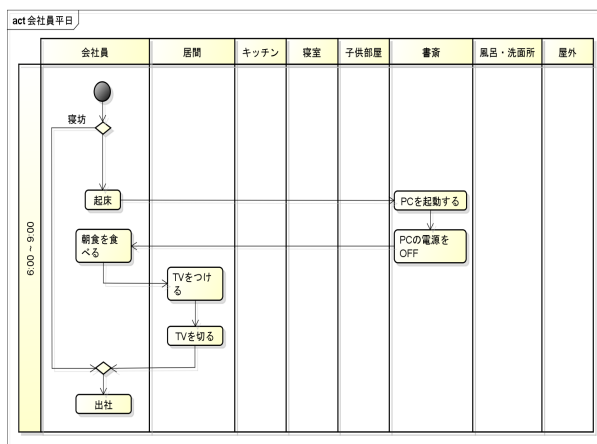


図 1 アクティビティ図例

## 4 シミュレータの設計と実装

### 4.1 シミュレータの課題と解決方法

本シミュレータを作成する際の課題として、様々な家庭に対するシミュレーションを行うことができるようにするにはどうすれば良いのか、つまり、家庭内に存在する家電の種類が一定ではない中で、人と家電との関係をどう設計すべきかが挙げられる、さらに、家電に対しては、10ms 単位での時間操作が要求され、住人に関しては、数分もしくは数秒単位での操作が要求されるという部分の時間の差をどのように実現するかという点も挙げられる。

その解決方法として以下のような設計を行った。

- 住人の数や暮らし方によって使用される家電の数や住人の行動は変化するので、利用者が本シミュレータを利用する際、自分が使用する家電や人間の人数、行動パターンを登録する必要がある。

供給源、家電、住人に関してはそれぞれインタフェースを用意し、基本的な動作についてのみ定義を行い、家電の消費電力、住人の時間毎の行動などに関してはシミュレーションを行う人間が記述をし、登録を行うようにした。

- シミュレータの実行方式はマルチスレッドを利用した並行実行を行わず、独自のスケジューラを用意し、共通のクロックに同期をして行うようにしている。

その理由として、電力供給源と家電の関係上、電力の受け渡しの際、常に同期を取り、電力の受け渡しを行う必要があるからである。常に同期をとり続けていてはマルチスレッドを利用するメリットが少ないので、常に共通のクロックを参照し、電力供給源、家電が同じタイミングで動作を行うことが出来るようにするために、本シミュレータでは共通のクロックによる擬似並行実行を採用した。

- 家の生成には Builder パターンを利用している。家には部屋、家電があり、それぞれの家電は対応する部屋の中にあるという想定をしているので、部屋の生成、家電の生成、部屋への家電の登録という順序までを指定することの出来る Builder パターンを利用して設計した。

### 4.2 クラスの関係と各クラス

図 2 は本シミュレータのクラス図である。

- Simulator クラス … シミュレーションを行う際に使う全ての要素、家電、電力供給源、家、部屋、人を生成し、時間を管理するクラス。パケットのサイズ、家電の消費電力、バッファサイズ、家電の優先度に関しての設定もこのクラスが行う。
- Consumer インタフェース … 家電の行動を表すメソッドを集めたインタフェース。
- Producer インタフェース … 供給源の行動を表すメ

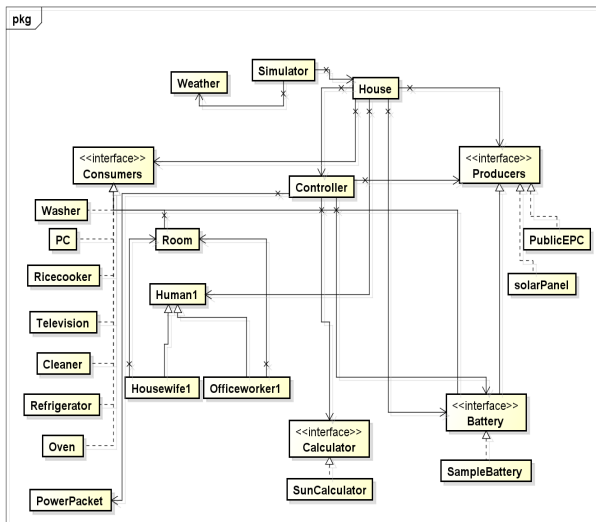


図 2 クラス図

ソッドを集めたインタフェース。

- Battery インタフェース… バッテリーの行動を表すインタフェース。バッテリーは供給側としての側面と家電としての側面と両方を持つので、Consumer インタフェース、Producer インタフェースの両方を継承している。
- Controller クラス… 電力ルータを表すクラス。電力の受け渡しを行う。
- Calculator インタフェース… ルーティングアルゴリズムを表すインタフェース。ルータの計算アルゴリズム部分を表す。Strategy パターンを採用し、計算部分と、電力分配の動作部分とを別にすることで結合度を下げている。
- Human クラス… 住人を表すクラス。住人の基本的な行動として各部屋に入る、出るというメソッドを持つ、各部屋で何をするのかという部分に関してはサブクラスで実装を行う。
- Room クラス… 部屋を表すクラス。家電を登録し、人間の行動を部屋の移動と捉えることで、人間が直接家電を操作するという直接的な記述を避けることで人間と家電との結合度を下げるために利用している。

## 5 シミュレーション

4.1 節で定義した行動パターンに基づいた ON, OFF を行い、家電モデルを基に家電を設定し、シミュレーションを行った。

- 供給源は、公用商用電源、太陽光発電、蓄電池の 3 種類を設定する。
- 家電は、表 1 の家電を実装する。これは、今回の実験で登場する人間が使用する家電である。家電の消費電力は、実際にワットチェッカを用いて測定したデータを使う。優先度は、安定した電力供給が必要とされる

炊飯器、PC を高めに設定した。

- 今回の電力ルーティングアルゴリズムでは、家電が必要量と優先度を電力ルータに送信する。電力ルータでは受け取った情報の中からもっとも優先度の高い家電に、供給可能な供給源の中の最も料金が安い供給源から電力を供給させるルーティングアルゴリズムを採用した。
- 炊飯器の炊飯時間、電子レンジの使用時間に関しては決められた時間の中から確率で選択をしている。

表 1 実験で利用する家電

家電の名称	消費電力 (W)	優先度	バッファサイズ (J)
冷蔵庫	100	4	24
TV	150	2	24
電子レンジ	1300	5	72
炊飯器	1200	7	72
掃除機	1100	1	72
洗濯機	120	3	24
PC	30	6	24

### 5.1 実験 1

実験 1 では、表 1 で説明した前提の状態の時、ポ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。ポケットサイズはそれぞれ 6J, 12J, 18J, 24J の場合について実験を行う。表 2, 3, 4, 5 はそれぞれのポケットサイズでの家電の稼働率の表である。この実験では (実際に電力が供給されて稼働できた時間 ÷ 電力が供給されていれば稼働できた時間 × 100) を稼働率と呼ぶこととする。各ポケットサイズについて 10 回ずつ同じ試行をし、稼働率の平均を出したものを表にしている。

表 2 ポケットサイズ 6J の場合の結果

ポケットサイズ 6J	稼働率 (%)
冷蔵庫	92.3
TV	99.9
電子レンジ	1.0
炊飯器	51.9
掃除機	30.0
洗濯機	99.9
PC	99.9

表 3 ポケットサイズ 12J の場合の結果

ポケットサイズ 12J	稼働率 (%)
冷蔵庫	94.7
TV	99.9
電子レンジ	18.2
炊飯器	92.4
掃除機	74.1
洗濯機	99.9
PC	99.9

表 4 ポケットサイズ 18J の場合の結果

ポケットサイズ 18J	稼働率 (%)
冷蔵庫	99.4
TV	99.9
電子レンジ	57.8
炊飯器	99.9
掃除機	99.9
洗濯機	99.9
PC	99.9

表 5 ポケットサイズ 24J の場合の結果

ポケットサイズ 24J	稼働率 (%)
冷蔵庫	99.8
TV	99.9
電子レンジ	68.8
炊飯器	99.9
掃除機	99.9
洗濯機	99.9
PC	99.9

## 5.2 実験 2

実験 2 では、パケットサイズは 18J で変更せず、家電のバッファサイズのみの変更を行い実験を行う。実験の前提条件は、PC、電子レンジ、炊飯器のバッファサイズ以外は実験 1 で示した値と同じものを用いる。今回の実験では、各家電のバッファサイズがどの程度の大きさであれば、家電の電力要求を安定して満たすことができるかを考察する。表 6, 7, 8 はそれぞれバッファサイズを変更した場合の家電の稼働率である。各バッファサイズで 10 回ずつ同じ試行をし、稼働率の平均を出したものを表にしている。

表 6 電子レンジのバッファを大きくした結果

家電	バッファサイズ (J)	稼働率 (%)
冷蔵庫	24	99.1
TV	24	99.9
電子レンジ	144	53.6
炊飯器	72	99.9
掃除機	24	99.9
洗濯機	24	99.9
PC	24	99.9

表 7 PC のバッファサイズを大きくした結果

家電	バッファサイズ (J)	稼働率 (%)
冷蔵庫	24	99.7
TV	24	99.9
電子レンジ	72	51.4
炊飯器	72	99.9
掃除機	24	99.9
洗濯機	24	99.9
PC	72	99.9

表 8 電子レンジより優先度の高いもののバッファサイズを大きくした結果

家電	バッファサイズ (J)	稼働率 (%)
冷蔵庫	24	99.0
TV	24	99.9
電子レンジ	72	51.7
炊飯器	144	99.9
掃除機	24	99.9
洗濯機	24	99.9
PC	144	99.9

表 9 表 8 よりも PC 炊飯器のバッファサイズを大きくした結果

家電	バッファサイズ (J)	稼働率 (%)
冷蔵庫	24	98.0
TV	24	99.9
電子レンジ	72	50.2
炊飯器	288	99.9
掃除機	24	99.9
洗濯機	24	99.9
PC	288	99.9

## 6 考察

### 6.1 実験の考察

実験 1 では、表 2, 表 3 からパケットサイズが小さいときは、電子レンジなど消費が大きい家電の稼働率が悪く、電力を安定して供給しているとは言えない。しかし、表 4, 表 5 からパケットサイズがある程度大きければ、これらの家電にも電力が安定して供給できていることがいえる。また、この結果からパケットサイズは最低でも家電の最大消費電力よりも大きい電力を送ることが出来る必要があると考えられる。

また、実験 2 では、パケットサイズに対して、家電の消費電力が 3 分の 2 を越えるような家電がある場合にはバッファサイズを変更したとしても稼働率を上げることが出来ないということをシミュレーションにおいても確認できた。今後の課題としてアルゴリズムなどを変えていくことで、稼働率を上げられるかを考察していく必要がある。

### 6.2 シミュレータの設計の考察

今回のシミュレータでは人間の行動を部屋の移動とみなし、部屋の家電を操作するという形で設計を行った。部屋を通して家電を操作することにより、家電と人との結合度を下げることで、人の再利用性を高めている。

人の行動を考慮せず確率によって家電の ON, OFF を行うという設計も考えることが出来るが、人の実際の行動のログを取り、そのログに基づいて家電の操作を行うことを想定しているので、人をシミュレーションの一要素としている。人間の行動については時間と人間の行動というように書き方を統一し、ファイル読み込みによって行動を定義する、アクティビティ図を読み込み、自動でプログラムを生成するなどの方法も考えられる。

今回は 5 節で挙げたルーティングアルゴリズムを利用したが、Strategy パターンを採用しているので、calculator インターフェースを実装したクラスを変更することでシミュレータに変更を与えることなくアルゴリズムを容易に変更することが出来る。

## 7 おわりに

本研究は電力パケット網が実現した後の世界について、家電のバッファサイズ、パケットサイズについての考察を行うことが目的である。その目的を達成するためにシミュレータの開発を行い実験を行った。その結果から、各家電の特性に合わせたバッファサイズが必要であること、また、実験を行った家庭のみに対してだが、生活をする上で必要となるパケットサイズがどの程度の大きさになるかが考察できた。今回の実験ではパケットサイズ、バッファサイズにのみ注目したので、人間の行動、ルーティングアルゴリズムに関しては変更を行わずに実験を行った。今後、人間の行動やルーティングアルゴリズムを変更し、様々な実験を行っていく必要がある。

今後の課題として、シミュレータをさらに汎用的に変更し、様々な家庭に対する実験をより簡潔に行えるようにする必要があること、様々な条件での実験を繰り返し、バッファサイズ、パケットサイズの必要な大きさについての考察を行っていく必要がある。アルゴリズムに関して考察を進めていき、電力の分配の方法などによって家電の稼働率を高くすることが出来るのかということに関して考察を行っていく必要がある。

## 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, Vol.51 . No.8 , pp . 943-950 , Aug . 2010 .
- [2] 中部電力, “中部電力 E ライフプラン (3 時間帯別電灯) 基本メニュー,” [http://www.chuden.co.jp/ryokin/home\\_menu/home\\_basic/hba\\_elifelife/index.html](http://www.chuden.co.jp/ryokin/home_menu/home_basic/hba_elifelife/index.html), 2014 年
- [3] NEDO, “日射量データベース閲覧システム,” <http://app7.infoc.nedo.go.jp/metpv/metpv.html> .