4V-01

スマートグリッドのための大規模ネットワークシミュレータの構築

†‡森　静奈　†唐土　慶太　†‡矢向　高弘
†慶應義塾大学理工学部　‡JST CREST

1　はじめに

近年，基幹電源を従来の火力発電や原子力発電から再生エネルギーである風力発電や太陽光発電へとシフトを検討する動きが活発化している．再生エネルギーの導入が進むにつれて，現在と比較し電力網の管理はかなり煩雑となる．煩雑化するに伴い，電力網だけではなく情報通信網も併用して電力網全体の最適化制御を行う必要が生じてくる．現在提案されている多くの最適化制御手法は，情報通信網が理想的に運用されることを想定している場合がほとんどである．しかし実際には大規模な情報通信網を構築した場合，通信時間の揺らぎやデータの欠損が発生してしまう．従って，まず今後導入が検討されている各種の最適化制御手法が情報通信網の性能変動に対してどの程度耐性があるのかを十分に検討する必要がある．次に，その結果に基づいて情報通信網の Quality of Service (QoS) の定義を行うとともに，その QoS を実現する情報通信網運用技術を検討する必要がある．

上記について検討を行うためには，まず情報通信網単体でのシミュレータを構築し，評価を行わねばならない．スマートグリッドの各家庭の通信の役割を担うとされているのがスマートメータである．スマートメータの通信方式は適材適所となる予定であるが，多くの割合を締めるのが無線マルチホップ方式である．現段階では，自動検針が行える程度の帯域が確保されれば良いとされているが，スマートメータを介して電力網制御が行われるようになるとトラフィックが増大する．パナソニック [1] や東芝 [2] など多くの企業は既に最適ルーティング技術に関する研究を行っているが，自動検針以外にもトラフィックが存在した場合でも安定した通信を保つことが今後の課題となる．本稿では，その研究基盤として大規模シミュレータを構築し，ルーティングプロトコル DYMO を用いて TCP/UDP 通信のパケット到達率と通信遅延の評価を行った．

2　シミュレータ概要

ネットワークシミュレータには OMNeT++を選定した．実際に構築した EMS シミュレータの詳細を以下で説明する．

2.1　物理トポロジ

ネットワークは家，コンセントレータ，ルータ，ヘッドエンドから成っている．家とコンセントレータで Field Area Network (FAN) を構成し，複数の FAN の情報を一括に集約するのがヘッドエンドである．FAN を 10 個配置し，各 FAN 内にコンセントレータとルータが 1 台ずつ，そして可変数の家庭を格子状に配置した．住宅戸数密度として高密度とされる 30 戸/ha を基準とし密度は一定とした．

2.2　通信特性

家とコンセントレータの間は，無線通信で接続する．通信プロトコルは物理層に IEEE802.15.4g，MAC 層に IEEE802.15.4 のノンビーコンモードを用いている．周波数帯は，実際にスマートメータで用いられる予定の 920 MHz 帯を使用し，ビットレートは 100 kbit s^{-1} とした．コンセントレータとヘッドエンドの間は，有線通信で接続する．各無線端末の通信範囲内には 20 戸程度存在する．

ルーティングプロトコルには，OMNeT++に実装されているものの中から一番負荷の小さいリアクティブ型の DYMO を選択した．DYMO のパラメータは，ルーティングテーブルの最大有効時間である ROUTE_AGE_MAX をシミュレーション時間の 100 s に，転送するためのルート情報が使われてから有効期限切れになるまでの時間である ROUTE_USED_TIMEOUT を UDP パケットの送信間隔である 30 s に変更し，他のパラメータは OMNeT++に設定されてある初期値のままとした．

2.3　アプリケーション

スマートメータを介す TCP/UDP の 2 つのアプリケーションを作成した．TCP には自動検針，UDP にはコンセントレータから各家庭の機器に対して制御を行う制御通信を想定した．シミュレーション時間は 100 s とし，この間に各家庭が TCP で 1 回ずつパケットを送信し，コンセントレータは各家庭に対し 30 s 間隔でパケットを送信する．一度に全家庭が通信を行うと衝突の発生率が高くなるため，各家庭がそれぞれの FAN で一定間

Constructing a large-scale network simulator for smart grid
†‡Shizuna Mori　†Keita MOROKOSHI　†‡Takahiro YAKOH
†Keio University　‡JST CREST

Copyright ©2015 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

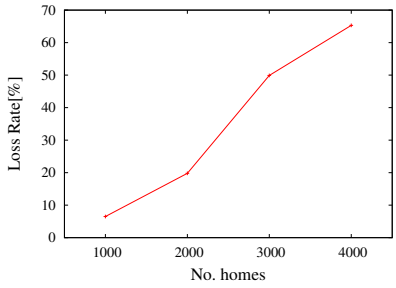


図 1: パケットロス率 (TCP)

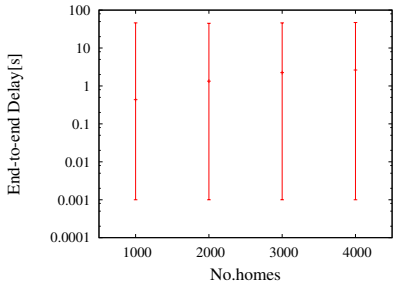


図 2: 通信遅延 (TCP)

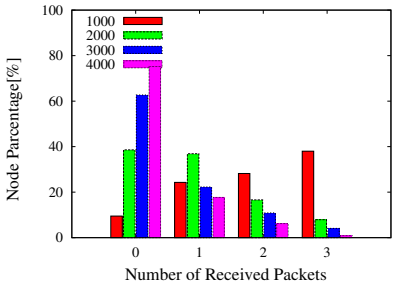


図 3: パケット受信率 (UDP)

隔を空けてデータを送信する．送信するデータパケットのサイズは TCP が 50 B，UDP が 10 B とした．

3 シミュレーション結果

シミュレーションを行ったマシンは，Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2650 v2 @ 2.60 GHz である．FAN 内の家庭数を 100 から 400 へ 100 単位 (全体で 1000 から 4000) で変化させて性能を評価した．

3.1 TCP 通信

図 1 はパケットロス率である．ここで言うパケットロス率は，各コンセントレータが自動検針データを受信することができなかった家の数の割合を指す．1000 ノードでは 6.5%であったが，3000 ノードではほぼ半数の 49.9%がパケットロスを起こした．以前の研究 [3] では，TCP 通信のみでルーティングを行わずに性能評価を行った．その際にはノード数が増加した場合にもパケットロスはほぼ発生しなかった．よって TCP のパケットロスの原因は UDP 通信を同時に行っていること，またルーティングプロトコルの制御パケットの存在であると言える．

図 2 は通信遅延である．平均値はノード数と比例して増加しているが，最小値は約 1 m s，最大値は約 47 s とほぼ一定であった．

3.2 UDP 通信

UDP パケットはシミュレーション時間 100 s 内で 30 s ごとに送信を行っているため，コンセントレータから各家庭に 3 パケットずつ送信されている．図 3 は全体の家庭数のうちの何パーセントが何パケットを受信できたかを示す．1000 ノードでは多くを受信できているノードの割合の方が多いが，2000 ノード以降は受信できないノードの割合の方が高くなっているのがわかる．通信遅延については，ノード数が増えてもあまり変化はなく，最小で 0.001 s，最大で 9.729 s であった．UDP 通信を用いるアプリケーションの中には通信遅延の制約に厳しいものもあるため最大遅延の改善が必要である．

4 おわりに

本稿では，スマートグリッドのための大規模シミュレータを構築し，4000 ノードまでの性能評価を行った．評価の結果，TCP と UDP 通信の共存は通信環境の悪化を招くことが示された．安定した通信環境を構築するためには，よりルーティング効率の良いプロトコルを用いることや，TCP を用いることなく UDP だけで信頼性のある方法等検討する必要がある．

謝辞

本研究は独立行政法人科学技術振興機構 CREST の助成金による支援を受けている．

参考文献

[1] 岡田幸夫, 梅田直樹, 土橋和夫, 山本心司. 大規模ネットワーク対応のスマートメータ用マルチホップ通信. パナソニック電工技報 Vol.59 No.3, パナソニック株式会社, 2011.

[2] 米山清二郎, 中野健治, 小林崇裕. 低コストで安定したスマートグリッド通信を実現するスマートメータ用無線メッシュネットワーク通信ユニット. 東芝レビュー Vol.67 No.7, 株式会社東芝, 2012.

[3] 森静奈, 矢向高弘. OMNeT++を用いた EMS シミュレータの構築と性能評価. 自動制御連合講演会講演集, 2014.

Copyright ©2015 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.