災害時における省電力情報流通のための機器消費電力基礎調査

キーワード 　　　　　　　　　 小林 亜樹

省電力化，通信機器，蓄積転送，DTN

1. はじめに

　災害時情報共有システムでは，生き残った拠点とその周辺だけでも自立的に動作，運用できることが重要であり，情報面，電力面双方で孤立している状況で動作するアーキテクチャが求められる．このとき，孤立状況としては，完全孤立も考えられるが，断続的に外部と連絡される状況（準孤立）もあり得る．そのような場合では，出来うる限りの情報の流通，電力の融通を実現できることが望ましい．ただし，この場合の外部とは，十分な大きさを持つ通常運用に近い地域ばかりとは限らず，単に隣接する別の孤立領域であるかもしれない点には注意を要する．

　本稿では，このような情報システムを開発するに当たって，消費電力面の基礎となる，ネットワーク関連機器の挙動に伴う消費電力調査を行ったため，これについて報告する．

2. 孤立地域における災害時情報共有システム

　情報流通の観点において，孤立または，準孤立，あるいはそれに至るような劣通信環境下でのネットワーク運用は，古くは冗長構成による障害回避に発し，アドホックネットワークや無線メッシュネットワーク，コグニティブ無線などを経て，Delay or Disruption Tolerant Networks[1]（DTN）と呼ばれる研究領域として発展してきた．近年ではその応用領域の広さから注目を集めている．DTNでは，回線が不安定で断続的にしか通信できないリンクの存在を前提とし，そのようなネットワークでの経路制御，到達保証，帯域の有効活用，到達遅延の低減などが議論されている[2]-[8]．

　災害時情報共有システムは，DTNを規定する情報ネットワーク要件を満たす状況であると考えられるため，この面での研究を進めていく必要性を指摘できる．一方，同システムでは，電力ネットワークも孤立することを想定して検討する必要がある．すなわち，最悪時の状況として限られたバッテリ残量での効率的運用方式を見出す必要がある．

　通信メディアの伝送速度が10倍になると，消費電力はおおむね3倍弱となることが知られている．また，無通信ポートの消費電力状態を省電力状態へ遷移させる手法が提案され，これを実現するルータ等機器の設計方式[9]について議論されている．さらに，ネットワーク全体での低消費電力化を果たすためのルーティング方式[10]が注目を集めている．

　低消費電力下において，安否情報に代表される減災情報特有の優先度を持つような情報の通信，流通方式を低消費電力環境として実現することが重要であることがわかる．残念ながらこのような状況下での統合的な研究例を見出すことは出来ない．

3. 情報システムを構成する通信機器

　孤立，準孤立環境下で運用されるべき情報システムでは，簡潔なソフトウェアパッケージと同時に，ノートパソコン程度のハードウェアでの運用可能性は必須である．また，数台のコンピュータが利用可能であれば，機能，容量の双方で，ハードウェアの追加に応じて能力が向上することが望ましい．

　このとき，システム運用の制約条件となるのが電力状況である．特に厳しいバッテリのみでの運用では，バッテリ残量でのできる限りの長時間運用が求められ，このような縮退運用にも容易に戻せるシステムであることが望ましい．ソフトウェア面についての議論も必要ではあるが，ここでは，消費電力におよぼす，通信トラヒックや機器運用を議論できるようにするため，基礎となる調査を行う．

　情報システムを構成する通信機器は，コンピュータのほか，LAN内通信機器としてのL2スイッチ，外部への通信ゲートウェイとしてのL3スイッチ（ルータ）が代表的であるため，これらのトラヒックや利用状況に応じた消費電力について調査する．

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| up数 | 8 | 7 | | | | | 6 | |
| up# | 12345678 | 1234678 | 1235678 | 1245678 | 2345678 | 1345678 | 123457 | 123456 |
| 電力 | 5.95 | 5.32 | 5.37 | 5.3 | 5.26 | 5.25 | 4.75 | 4.73 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| up数 | 6 | | | | | | | |
| up# | 123467 | 123567 | 234567 | 124567 | 134567 | 123568 | 124578 | 124568 |
| 電力 | 4.72 | 4.72 | 4.71 | 4.71 | 4.7 | 4.68 | 4.66 | 4.65 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| up数 | 6 | | | | | | | |
| up# | 123578 | 134578 | 234578 | 234678 | 134568 | 123678 | 124678 | 134678 |
| 電力 | 4.64 | 4.64 | 4.64 | 4.64 | 4.63 | 4.63 | 4.63 | 4.62 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| up数 | 6 | | | | | | |  |
| up# | 234568 | 145678 | 135678 | 235678 | 245678 | 125678 | 345678 |  |
| 電力 | 4.61 | 4.61 | 4.6 | 4.59 | 4.57 | 4.5 | 4.46 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| up数 | 2 | | | | | | | |
| up# | 13 | 14 | 23 | 24 | 12 | 34 | 17 | 45 |
| 電力 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.42 | 2.38 | 2.37 | 2.37 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| up数 | 2 | | | | | | | |
| up# | 47 | 15 | 25 | 27 | 35 | 37 | 18 | 38 |
| 電力 | 2.36 | 2.35 | 2.34 | 2.34 | 2.34 | 2.33 | 2.32 | 2.31 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| up数 | 2 | | | | | | | |
| up# | 16 | 26 | 28 | 36 | 46 | 48 | 57 | 68 |
| 電力 | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2.16 | 2.14 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| up数 | 2 | | | |  | 0 |  |  |
| up# | 78 | 58 | 67 | 56 |  |  |  |  |
| 電力 | 2.14 | 2.13 | 2.13 | 2.12 |  | 1.1 |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| up数 | 1 | | | | | | | |
| up# | 1 | 2 | 3 | 4 | 7 | 5 | 6 | 8 |
| 電力 | 1.85 | 1.83 | 1.82 | 1.8 | 1.7 | 1.68 | 1.68 | 1.67 |

本稿での調査対象機器は，L2スイッチには，GbEスイッチとして広く販売されている，

表1 Linkupポートと消費電力[W] (抜粋)

Buffalo LSW4-GT-8NS/WH（以下，L2スイッチと呼ぶ）を，ルータには，中小規模のゲートウェイルータとしてCisco ISRシリーズ model 1841（以下，ルータと呼ぶ）とした．

4. L2スイッチの消費電力

　コンシューマ向けL2スイッチであるため，ポート未使用時の消費電力削減を謳っている．そこで，ポート毎のリンク状況と消費電力との関係を調査した．また，通信負荷を与えた際の消費電力の増加についても調査した．

　消費電力はlink upしたポート数のみによっては決まらず，物理的な接続ポートとの相関があることがわかった．本L2スイッチは，8ポートの物理Gigabit eathernet インタフェースを持つため，機器上の印刷に合わせて1番から8番のポート番号で呼称する．

　L2スイッチのLANケーブル未接続状態での消費電力は1.1[W]であった．表1に，それぞれLink up ポート数1～8のときの，具体的な接続ポート番号と消費電力の関係を示す．このうち，接続数が1のときは，1.67～1.85[W]の消費電力であり，未接続状態との差は，0.57～0.75[W]である．この最小～最大の差は，増加電力の24％あまりであり無視することは出来ない．

　一方，通信負荷を加えた際の消費電力には，有意な増加は観測されなかった．測定では，eathernetフレームを1500[octet]となるパケットを帯域を使い切る状況で送出した．また，フレーム長46[octet]となる場合についても測定したが，電力に有意な差はなかった．

　これらより，ハードウェアによるスイッチングを行う消費者向けL2スイッチにおいては，通信負荷の有無による電力消費に差異は生じず，省電力機能としてのLink downポートの電力供給停止に起因する電力消費の低減のみを考慮すれば良いことがわかった．

　表1上部には，各ポートLink up時の消費電力を抜粋して掲載した．全8ポートのうち，8, 7, 6, 2, 1, 0ポートLink up時の抜粋である．これらのLinkupポート数については，すべての組み合わせについての結果である．

　このとき，複数ポートLink up時の結果によると，1ポートLink up時の電力増加の単純和として全体の消費電力を計算できるわけではない．運用時を考えると，縮退運用時には消費電力の少ないポートを優先して運用すれば良いが，その際の消費電力を推定できると設計や，運用判断に役立つ．消費電力は機器により異なるため，機器毎にあらゆる使用ポートの組み合わせを試す手間は，非現実的である．

　そこで，1ポートLink up時のポート毎の消費電力を用いて，複数ポートLink up時の推定電力算出式を導出した．ポート未使用時の電力 *P0* と，各1ポートLink up時の追加電力 *Pi*（*i*はポート番号, 1 <= *i* <= 8），接続ポート数 *c*，および，定数による調整項の和とし，それぞれ係数*a*, *b*となっている．適用範囲は2ポート以上Link up時（*c* >= 2）である．なぜなら，1ポートLink up時は，待機時電力*P0*との単純和により測定済みであることを前提とするためである．

　式(1)が本モデルに基づく推定式である．ここで，*n*はポート数であり，本稿では*n*=8である．*P0*=1.1[W]で，*ci*はポートにLink up時1，Link down時0となる，接続を示す係数である．推定係数*a*, *b*については，全組み合わせ時の消費電力から回帰分析を行い推定した．

　推定式によるLink upポート数毎の最大，最小電力の組み合わせとなる場合における推定電力と，測定電力との比較を表2に示す．最大誤差4%程度であり，良好に推定できていることがわかる．

　本推定式の利用に当たって必要となる係数a, bの推定のために，全組み合わせを調査しては意味がない．1ポートLink up時の増加電力，並びに，組み合わせ数の少ない2ポートLink up時，あるいは，n-1ポートLink up時の平均消費電力値より精度良く推定可能であると見込んでいる．具体的な検証を今後予定している．

表2 消費電力推定値と誤差

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 最大 | | |
| 接続数 | ポート | 推定値 | 誤差[%] |
| 2 | 38 | 2.22 | 4.1 |
| 3 | 123 | 30.9 | -0.56 |
| 4 | 1234 | 3.76 | -2.3 |
| 5 | 12346 | 4.3 | -2.3 |
| 6 | 123478 | 4.83 | -0.71 |
| 7 | 1234568 | 5.39 | 0.03 |
| 8 | 全 | 5.94 | 0.13 |
|  | 最小 | | |
|  | ポート | 推定値 | 誤差[%] |
| 2 | 56 | 2.11 | 0.54 |
| 3 | 678 | 2.62 | 0.8 |
| 4 | 5678 | 3.19 | -1.14 |
| 5 | 34568 | 3.99 | -3.5 |
| 6 | 345678 | 4.53 | -1.6 |
| 7 | 1345678 | 5.25 | 0.03 |
| 8 | 最大時と同一 | | |

5. ルータの消費電力

　中小拠点向けルータにあっては，接続形態が拠点の事情により異なるため，接続メディアはモジュール形式で差し替え可能としている例が多い．そのため，消費電力は当該モジュール，また，通信先までの距離等によっても異なるため，示されていないことが多い．

　本稿では，ISR model 1841において，追加モジュールなし，すなわち，Fist eathernet 2ポートのみでの消費電力について調査した結果を報告する．

　無通信時の各ポートLink up状態毎の消費電力を表3に示す．

表3 ISR1841 無通信時消費電力

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 接続 |  |  |  |  |
| FE0 | no | 1 | no | 1 |
| FE1 | no | no | 1 | 1 |
| 電力[W] | 12.86 | 13.23 | 13.26 | 13.6 |

　1ポートあたり，0.35～0.4[W]程度の増加がみられた．ルータは，外部との接続境界において必須なため，一部ポートのみ切り離しての運用には意味がない．そこで，接続時に発生する通信に対する消費電力の伸びを測定した．

表4 通信帯域と消費電力

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 帯域 [Mbps] | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 |
| 電力[W] | 13.7 | 13.71 | 13.71 | 13.74 | 13.74 | 13.79 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 帯域 [Mbps] | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 | 1.1 | 1.2 |
| 電力[W] | 13.8 | 13.8 | 13.81 | 13.82 | 13.84 | 13.83 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 帯域 [Mbps] | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.8 |
| 電力[W] | 13.84 | 13.83 | 13.85 | 13.87 | 13.88 | 13.9 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 帯域 [Mbps] | 1.9 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
| 電力[W] | 13.93 | 13.92 | 13.93 | 13.93 | 13.92 | 13.93 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 帯域 [Mbps] | 4.5 | 5.0 | 5,5 | 6.0 |  |  |
| 電力[W] | 13.93 | 13.94 | 13.94 | 13.95 |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

　表4はパケットサイズ1500[octet]のUDPパケットを2ポート間で中継した際のパケット送出帯域と消費電力である．実験時におけるパケット損失は観測されていない．送出帯域の増加に伴い，緩やかに消費電力も増加している．TCPにおいても同様の傾向を示した．これらより，ソフトウェアによるパケットフォワーディングを行うルータでは，転送帯域の増加にかかわらずほぼ一定の電力を消費するという一般に知られた事実と，しかしわずかながら増加することが確かめられた．

6. おわりに

　孤立ネットワークにおける，稼働時間延長と効率的な情報転送のための基礎調査として，一般的な通信機器の消費電力について調査した．スイッチ，ルータともに通信帯域との相関は低く，通電しているか否かが最も大きな要因であることがわかった．このことから，拠点間通信を時間的に集約することが，稼働時間延長のために重要であることが読み取れる．

　今後は，これらの基礎データを基に，ネットワーク制御法や情報流通アーキテクチャについて研究を進めていく．

参考文献

[1] Zhensheng Zhang, "Routing in Intermittently Connected Mobile Ad Hoc Networks and Delay Tolerant Networks: Overview and Challenges", IEEE Communications Surveys and Tutorials, Vol.8, No.1, pp.24-37, Jan. 2006.

[2] E. P. C. Jones, L. Li, P. A. S. Ward, "Practical Routing in Delay-Tolerant Networks, " ACM SIGCOMM WDTN'05, pp. 237-243, Aug. 2005.

[3] 森山 敦文,高橋 正生,内田 真人,鶴 正人，“劣通信環境における効率的な情報伝達による通信量削減，”信学技報 NS，Vol.106，No.577，pp.59-62，Mar. 2007．

[4] 伊藤学，淺谷耕一，富永英義，"断続的通信環境のためのDTN技術とレートレス符号を用いたデータ分割伝送に関する検討，" 信学技報，Vol.107, No.524，pp. 369-374，Feb. 2008.

[5] 落合秀也，江崎浩，"DTN環境を想定したトポロジ変化に強いメッセージルーティング，” 情処論，Vol.50，No.9，pp.2312-2326，Sep. 2009.

[6] Satoshi HASEGAWA, Yusuke SAKUMOTO, Mirai WAKABAYASHI, Hiroyuki OHSAKI, Makoto IMASE,

"Delay Performance Analysis on Ad-Hoc Delay Tolerant Broadcast Network Applied to Vehicle-to-Vehicle Communication," IEICE Trans. on Communications, Vol.E92-B, No.3, pp.728-736, Mar. 2009.

[7] 辻川 良輔,岩井 将行,瀬崎 薫，“モバイルアドホックネットワークにおけるノード密度を考慮した持続型ジオキャストプロトコル，”信学技報IN，Vol.109，No.276，pp.95-100，Nov. 2009.

[8] Yong-Pyo KIM, Keisuke NAKANO, Kazuyuki MIYAKITA, Masakazu SENGOKU, Yong-Jin PARK,

"A Routing Protocol for Considering the Time Variant Mobility Model in Delay Tolerant Network,"

IEICE Trans. on Information and Systems, Vol.E95-D, No.2, pp.451-461, Feb. 2010.

[9] 阿多 信吾,米崎 加奈子,岡 育生，“帯域追従型省電力ルータのためのトラヒック予測手法，”信学技報 NS，Vol.111，No.43，pp.121-126，May. 2011．

[10] 有田 一史, 田村 瞳, 池永 全志, 尾家 祐二，“アクティブリンクを最小化する経路選択によるネットワークの省電力化信学技報 NS, Vol.109，No.188，pp.63-68，Sep. 2009．