

WiFi 干渉緩和システム ZigSwitch に向けた ZigBee チャンネル相関性の初期的評価

Initial Evaluation of ZigBee Channel Correlation for WiFi Interference Mitigation System ZigSwitch

山本 貴宏¹
Takahiro Yamamoto石田 繁巳¹
Shigemi Ishida田頭 茂明²
Shigeaki Tagashira福田 晃¹
Akira Fukuda¹九州大学工学部 / システム情報研究院 EECS/ISEE, Kyushu University²関西大学総合情報学部 Faculty of Informatics, Kansai University

1 はじめに

WSN (無線センサネットワーク) では 2.4 GHz ISM バンドを用いる ZigBee (IEEE 802.15.4) 規格の無線通信が利用されているが、広く普及している WiFi (IEEE 802.11) からの干渉が大きな問題となっている [1]. 筆者らは、ZigBee ネットワークにおける WiFi からの干渉緩和に向け、ZigBee チャンネル間の相関性を用いて ZigBee チャンネル切り替える干渉緩和システム ZigSwitch の開発を進めている。本稿では、ZigSwitch の実現に向けた第 1 歩として ZigBee チャンネル間の相関性を検証する。

2 関連研究

ZigBee と WiFi との干渉を緩和する解決策として CCA (Clear Channel Assessment) を応用した干渉回避手法が報告されている。CACCA [2] では無線モジュールに 2.4 GHz 帯での通信を検出するハードウェアを追加し、異種規格の無線通信も検出可能な CCA を実現している。しかし、ハードウェアの追加のため市販の通信機器への適用は難しい。

また、ZigBee チャンネルを切り替えて干渉を回避する手法も報告されている。Yi らは、ZigBee ノード上で PER (Packet Error Rate) と LQI (Link Quality Indicator) を計測することで WiFi 干渉を検出し、干渉の少ないチャンネルに切り替える手法を示している [3]。しかし、短い WiFi フレームは ZigBee ノードで検出できないことも多く、WiFi と干渉する ZigBee チャンネルを誤って選択して通信性能が劣化する。これに対し、ZigSwitch では ZigBee チャンネル間の相関性に基づいて切り替え先の ZigBee チャンネルを選択し、干渉の発生する確率を削減する。

3 ZigSwitch

ZigSwitch は、ZigBee チャンネル間の相関性に基づいて ZigBee チャンネルを切り替える WiFi 干渉緩和システムである。図 1 に ZigSwitch の基本アイデアを示す。ZigSwitch では通信中にパケット到達率が減少した場合に WiFi との干渉が発生していると考え、通信中の ZigBee チャンネルとの相関が低い ZigBee チャンネルに切り替える。図 1 に示すように 1 つの WiFi チャンネルは 4 つの ZigBee チャンネルと重なっている。このため、WiFi からの干渉は連続した 4 つのチャンネルで発生し、4 つの ZigBee チャンネルにおけるパケット到達率の時間相関は高くなる。

通信中のチャンネルとの相関が低い ZigBee チャンネルは複数存在するため、周囲に存在する WiFi AP の動作チャンネルと重ならない ZigBee チャンネルを優先して選択する。実環境中の WiFi AP の動作チャンネルは頻繁には変更されないため、周囲の AP が使用しているチャンネルと重なる ZigBee チャンネルは WiFi 干渉により高い相関を示す。このため、周囲の AP が使用するチャンネルは ZigBee チャンネル間の相関から推定できる。

4 相関性の初期的評価

ZigSwitch の実現に向けた第 1 歩として、ZigBee チャンネル間の相関性を検証した。2 台の MICAZ ZigBee ノードを約 1 メートル離して九州大学研究室内に設置し、送信ノードから 3 ms 毎にパケットを送信して受信ノードで受信有無を記録した。ZigBee チャンネルは 4 回の送信毎に切り替えた。各 ZigBee チャンネルでの 4 回の送信を 1 回の試行とし、各試行に対してパケット到達率を算出した。試行回数は、各 ZigBee チャンネルで 512 回ずつである。

相関性の評価では、パケット到達率の時間変化の相関を計算した。各試行のパケット到達率を ZigBee チャンネル毎に分け、各 ZigBee チャンネル間での相関値を計算した。相関値は一般化相互相関 (GCC: Generalized Cross Correlation) 関数の最大値を用いた。なお、評価環境の周囲に存在した WiFi AP の動作チャンネルは ch1, 3, 6, 11 である。

図 2 にパケット到達率の時間変化の例を示す。図 2(a) は隣接する ZigBee ch18 と 19 のパケット到達率、図 2(b) は隣接していない ch18 と 26 のパケット到達率の一部分をそれぞれ示している。図 2(a) より、ch18 と 19 のパケット到達率の上昇・減少するタイミングが類似しており、高い相関

があると推定できる。一方、図 2(b) では ch18 と 26 のパケット到達率はほぼ独立に変化しているように見受けられるため、低い相関となると推定できる。

図 3 に各 ZigBee チャンネル間の相関を示す。図は、各 ZigBee チャンネル間の相関値をヒートマップとして描いたものである。同一チャンネル間の相関は 0 としている。図より、ch11 と 12, ch13 と 14, ch14 と 15, ch16 と 17, ch18 と 19 など、隣接する ZigBee チャンネルが高い相関を示していることが分かる。最大の相関を示したのは ch18 と 19 の間であり、最大相関値は 0.41 である。

また、高い相関を示している ZigBee チャンネルは周囲に存在する WiFi AP の動作チャンネルと重なっている ZigBee チャンネルであることが分かる。ZigBee チャンネル間での相関性は WiFi からの干渉により発生するため、使用されている WiFi チャンネルと重なる ZigBee チャンネルで高い相関となる。ZigBee チャンネルの切り替え時間に比べて WiFi の通信時間は短い、WiFi を主に使用するのが人間であることからチャンネル切り替え時間に比べて長い時間 WiFi を使用し、高い相関性が生じたと考えられる。なお、ch11 で動作する AP は実験用であり通信には使用されていないため、WiFi ch11 と重なる ZigBee ch21~24 の間では高い相関を確認できなかった。

5 おわりに

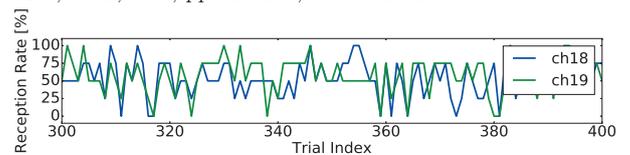
本稿では、ZigBee 通信における WiFi 干渉問題の解決に向けた WiFi 干渉緩和システム ZigSwitch を示した。ZigSwitch の実現に向けては ZigBee チャンネル間の相関性が重要となることから、実証評価を通じて相関性を検証した。

謝辞

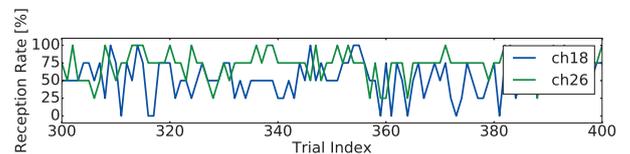
本研究の一部は、科研費 (15H05708, 15K12021, 16K16048) 及び東北大学電気通信研究所における共同プロジェクト研究の助成で行われた。

参考文献

- [1] K. Shuaib et al., "Co-existence of Zigbee and WLAN, a performance study," Proc. IEEE WTS, pp.1-6, April 2006.
- [2] L. Tytgat et al., "Avoiding collisions between IEEE 802.11 and IEEE 802.15.4 through coexistence aware clear channel assessment," EURASIP J. Wireless Communications and Networking, vol.2012, no.137, pp.1-15, April 2012.
- [3] P. Yi et al., "Developing ZigBee deployment guideline under WiFi interference for smart grid applications," IEEE Trans. Smart Grid, vol.2, no.1, pp.110-120, March 2011.



(a) ch18 と 19



(b) ch18 と 26

図 2 パケット到達率の時間変化

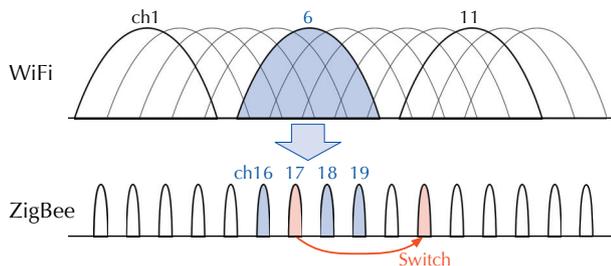


図 1 ZigSwitch の基本アイデア

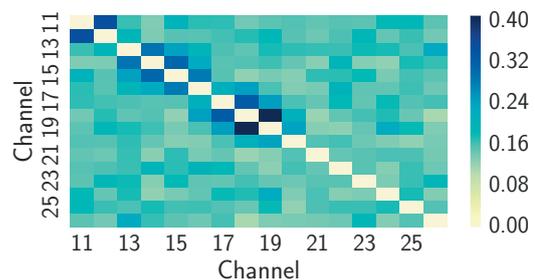


図 3 ZigBee チャンネル間の相関