

無線センサーネットワークを使用した Passive な混雑推定システム

中塚正之 岩谷周 甲藤二郎

早稲田大学大学院 基幹理工学研究科 情報理工学専攻

1 はじめに

近年様々な場所において、たとえば自動監視システムや各種のユーザアプリケーションとして、環境中における人間の数を求めることが重要なトピックとなっている[1]。既存の手法としてはカメラベースの混雑推定手法が多数あり、著者ら自身もカメラ画像から被写体の性別、年齢を推定するシステムを開発しており[2]、その中で、人数カウントシステムの導入も検討している。あるいはまた、歩行者に RFID を付与した人数カウントシステムも考えられる。しかしながら、これらの方式では設置の制約や展開コストが問題になるため、本稿においては、既存の無線通信インフラを用いて使用可能である Passive な混雑推定システムについて検討を行う。具体的には無線通信時に RSSI(Received Signal Strength Indicator)や LQI(Link Quality Indicator)の値を計測し、混雑度を推定する。

2 提案手法

2.1 RSSI と LQI

RSSI は受信電波強度であり、二つのノード間で通信されるパケットの送受信状況から求めることができる。RSSI 値は、人間が動く環境において、1人の人間が二つのセンサー間を動いた場合、値が変動することが指摘されている[3]。この傾向は、人数の増加するにつれ、より顕著になる。一方、人間が動かない場合においても、人間の構成成分の 60~70%は水分であるため[4]、電波は水分に吸収されるという特性上、通信経路上の人間は電波を吸収していると考えられる。このため、人間が増えるにつれて RSSI の平均値は低下し、分散は増加すると考えられる。一方、LQIは、ZigBee標準で定義された、フレームを受信した際に信号そのものの強度とノイズ干渉の強度から導き出される、RSSIに替わるリンク品質尺度である。これはPRR(packet received rate)と大きな相関があることがわかっている[5]。一定環境中において人間の数が増え人間が空間に対して占める体積が大きくなると、人間が動いていても静止していても電波が吸収されてしまうことでPRRが低下し、それ

に応じてLQIも平均は低下し、分散は大きくなる。また人間以外の物については、金属がある程度電波を反射するものの、それ以外の水分を含まない物(プラスチック、繊維など)に関しては電波を透過する性質が知られており[6]、RSSI/LQIへの影響は小さい。

2.2 実験環境

我々は実験に二つの無線通信ノードを用い、一方を送信用、他方を受信用とした。各々のノードの高さは送信側が 0.9m で、受信側が 0.7m、また二つのノードの間の距離は 8.0m とした。

そしてノード間の人間が椅子に座って静止している場合(静的シナリオ)と自由に動いている(歩く速度は約 2m/s で一定)場合(動的シナリオ)とで、人間の数を増やしていった時の RSSI, LQI を計測した。平均・分散を出すために用いた RSSI, LQI のサンプル数は共に 100 個で、これは約 20 秒間の通信分に当たる。用いたセンサーは Crossbow 社の MicaZ mote であり、これは無線通信に ZigBee を使用する。また同じ実験をノート PC(Let's note by Panasonic)と無線 LAN アクセスポイント(AirStation Access Point WLA-2-G54C by Buffalo)との間でも行った。こちらは無線通信に IEEE802.11b を用いている。

2.3 実験結果

次ページの図 1 から図 6 までは実験結果を示しており、人間の数に対応した RSSI, LQI の平均・分散がプロットされている。

2.3.1 ZigBee の場合

Zigbee とセンサーを用いた実験において(図 1~4)、動的、静的シナリオの両方において、人数が増えていくに連れて、RSSI・LQI の分散は基本的に増加し、平均は減少していくことが観察された。

RSSI 値に関しては静的シナリオ(図 1)の場合、その分散は直線的に増加しているが、動的シナリオの場合(図 3)はそれが対数的に増加している。一方で静的シナリオにおいて、平均は-82[dBm]から-92[dBm]まで減少しているのに対して、動的シナリオにおいては-81[dBm]から-84[dBm]までしか減少していない。これは静的シナリオにおいては人数が増えるに従い単純に電波が人間に吸収される量が増えるのに対して、動的環境においては乱れも生じさせているためだと考えられる。

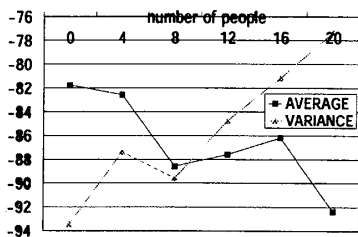


図 1: 静的シナリオにおける人数に応じた RSSI (mote)

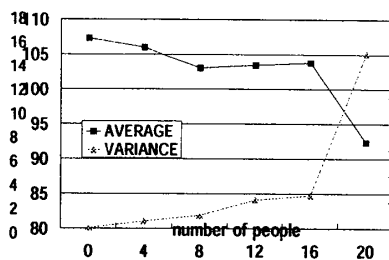


図 2: 静的シナリオにおける人数に応じた LQI (mote)

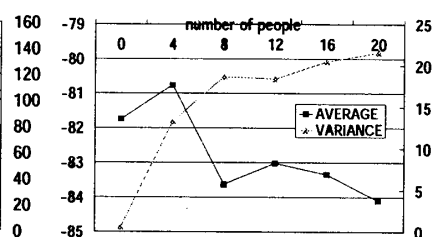


図 3: 動的シナリオにおける人数に応じた RSSI (mote)

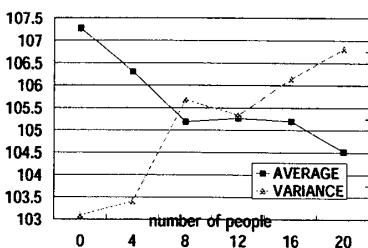


図 4: 動的シナリオにおける人数に応じた LQI (mote)

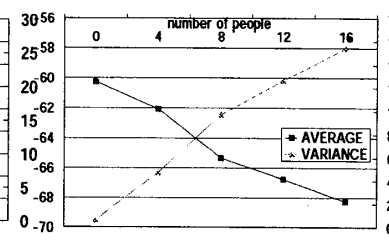


図 5: 静的シナリオにおける人数に応じた RSSI (無線 LAN)

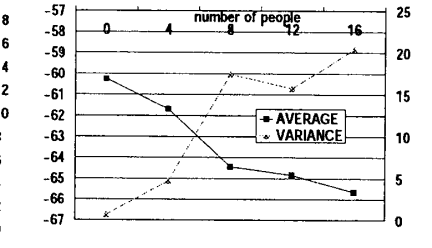


図 6: 動的シナリオにおける人数に応じた RSSI (無線 LAN)

LQI 値に関しては、静的シナリオにおいて(図 2)、その分散は 16 人から 20 人の間で劇的に変化している。動的シナリオでは(図 4)、そのようなことはない。これは静的シナリオでは、人が動かずパケットロスが継続的に起こり、それが分散値の劇的な低下を生むのに対し、動的シナリオでは、時折多数のパケットが損失することはあるが、その他の時点では損失なく到達し、その結果として安定した結果になっていると考えられる。一方、平均に関しては、LQI の特性は RSSI の特性と似たような結果が観測された。

以上の結果から、RSSI と LQI を用いて、混雑度だけではなく人間の状態(静止しているか動いているか)もある程度推定可能なことがわかる。

2.3.2 無線 LAN の場合

無線 LAN に関しても(図 5, 6)、ZigBee の場合と同じように、混雑度が増加するにつれて RSSI 値の平均は減少し、分散は増加した(LQI に関しては、現在の実験環境においては計測することが出来ない)。この結果から、無線 LAN においても RSSI を用いて混雑度を推定することが可能であることがわかる。また今回は狭い空間においてしか実験を行っていないが、ZigBee、無線 LAN 共に電波の到達距離をより長くできるため、より広い空間においても今回の手法は適用可能であると考えられる。

3 おわりに

本稿では無線通信時に得られる RSSI と LQI の一定時間内の平均・分散からその環境中における混雑度を推定する手法を提案し、実際の実験を通してそれが

可能であることを確認した。また同時に、例えば座っているか・歩いているか、などの人間の状態も推定できる可能性を示した。

人数予測に関しては、無線通信のキャリブレーションの必要があったり、人間の動きが不均一な環境においては精度が落ちてしまうという問題があるが、多量のサンプルを収集することでより精度の高い推定が可能になる。また、各種のセンサーから得られる音・磁気・光などの情報を融合させるセンサフュージョンによって、推定精度をさらに高めることが可能であると考えられる。

参考文献

- [1] S.F. Lin, J.Y. Chen, and H. X. Chao, "Estimation of Number of People in Crowded Scenes Using Perspective Transformation," in *IEEE Trans. System, Man, and Cybernetics*, Vol.31, No.6, pp. 645-654 (2001).
- [2] K.Ueki, H.Komatsu, S.Imaizumi, K.Kaneko, N.Sekine, J.Katto and T.Kobayashi, "A Method of Gender Classification by Integrating Facial, Hairstyle, and Clothing Images", *ICPR 2004* (2004).
- [3] M Youssef, M Mah, A Agrawala, "Challenges: Device-Free Passive Localization for Wireless Environments", *ACM Mobicom 2007* (2007).
- [4] K.R.Segal, B.Gutin, E.Presta, J.Wang and T.B.Van Itallie: "Estimation of Human Body Composition by Electrical Impedance Methods: A Comparative StudyW", *J. Appl. Physiol*, Vol.58, pp.1565-71 (1985).
- [5] K.Srinivasan and P.Levis, "RSSI is Under Appreciated", *The Third Workshop on Embedded Networked Sensors (EmNets)2006* (2006)
- [6] L.J.Ippolito, "Radio Propagation for Space Communications Systems", *Proceedings of the IEEE*, (1981)