

無人航空機による 920 MHz 帯電波を用いた土砂災害被災者検知のための電波伝搬距離特性の評価

Evaluation on path loss characteristics in 920 MHz band radio wave for detection of landslide victims using unmanned aerial vehicle

向保 一輝[†] 小林 真[‡] 新 浩一[‡] 西 正博[‡]

[†] 広島市立大学情報科学部 [‡] 広島市立大学大学院情報科学研究科

1 はじめに

豪雨や台風の影響による土砂災害が甚大な被害をもたらしている。土砂災害現場では、広範囲な情報収集を迅速にできる無人航空機が注目されている [1]。我々は、被災者が 920 MHz 電波を発信する無線機を有していることを想定して、無人航空機に具備した受信端末を用いた電波による被災者検出手法を検討している。本研究では、伝搬特性に与える大地面の影響に着目して、地中や地上に存在する送信端末と無人航空機に具備した受信端末間の 920 MHz 帯伝搬特性を、実測と FDTD (Finite Difference Time Domain) 法を用いたシミュレーションにより評価した。

2 無人航空機による伝搬特性の測定

送信端末が地上や地中に存在する事を想定して、920 MHz 電波の受信電力を無人航空機に搭載した受信端末で測定した。図 1 に環境を示す。

測定機器は、送信端末と受信端末から構成される。送受信に用いる周波数は 922.4 MHz、送信電力は 10 dBm とした。無線端末は interplan 社製の IM920s 無線モジュールと屋外用モノポールアンテナを用いた。送信端末を地上 ($d_{depth} = 0$ [m]) と、地中 ($d_{depth} = 0.5$ [m]) に設置して測定した。送信アンテナは地表面と平行となるように設置した。また、受信アンテナは送信アンテナと平行となるように固定した。測定中、無人航空機は送信端末直上の地面との直線距離 d [m] を保つようにした。

無人航空機として Dji 社製の inspire2 を用いた。高度は無人航空機に内蔵されている GPS を用いて測定し、無人航空機を飛行させることが難しい低い高度では発泡スチロールを台にして測定を行った。

図 2 と図 3 に送信端末が地上にある場合と地中にある場合の受信電力を示す。図 2 と図 3 の結果を比較すると送信端末が地中に存在する場合と地上に存在する場合とで、距離 d [m] によらず約 30 dB 程の受信電力の差が見られる。これは地中に 0.5 m 埋めた影響であると考えられる。

ここで自由空間伝搬損失の理論値を検討する。3次元空間での 1 m から 10 m の間の自由空間伝搬損失の理論値は以下のように導出できる [2]。但し、 $E_3(d)$ を距離 d [m] で 3次元空間の時の電界強度とし、 L を電力損失比とする。

$$E_3(d) \propto 1/d$$

$$L = 10 \log_{10}(E_3(10)^2 / E_3(1)^2) = -20 \text{ [dB]}$$

図 3 から、1 m の受信電力と 10 m の受信電力とで、約 20 dB の損失がある。このことから、地中からの電波は、主に地上

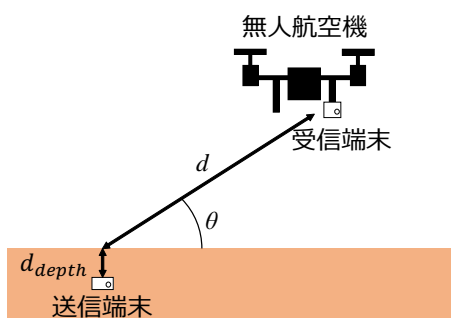


図 1: 測定環境

の送信端末直上付近を通過した後に、空中では自由空間伝搬に従うと考えられる。

3 FDTD 法を用いた伝搬損失のシミュレーション

FDTD 法シミュレーションを用いて、地中の体積含水率と送信点との仰角、直線距離を変化させた際の 920 MHz 帯電波の伝搬損失を評価した。解析を簡略化するため、 x, y 成分のみが存在する 2 次元空間でのシミュレーションを行った。図 4 にシミュレーションモデルを示す。周波数を 920 MHz とし、送信点を地中 0.5 m の深さに設定して、仰角と直線距離を変化させた際の伝搬損失を評価した。体積含水率を変化させた際の、比誘電率は Topp モデル [3] にもとづいて計算した。 ϵ を比誘電率、 w [%] を体積含水率とした時の Topp モデルの式を以下に示す。

$$\epsilon = 3.03 + 9.3(w/100) + 146.0(w/100)^2 - 76.7(w/100)^3$$

導電率は、比誘電率から以下の式に基づいて導出した [4]。 σ [S/m] を導電率とする。

$$\sigma = 6.4634\epsilon - 27.051$$

また、比透磁率は 1 とした。

FDTD 法シミュレーションで出力される電界の時間変化の結果から任意の地点の電界の最大値 E_z を求めることができる。伝搬損失 L は送信点の電界強度を E_0 とし、以下の式で求めた。

$$L = 10 \log_{10}(E_0^2 / E_z^2)$$

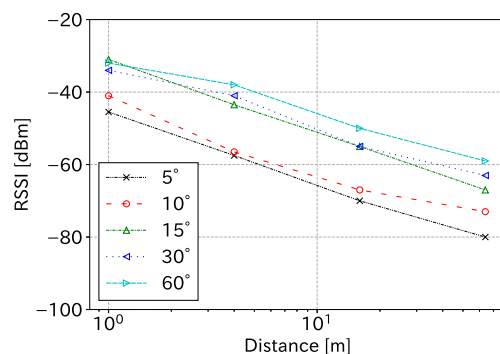


図 2: 地上の場合の受信電力

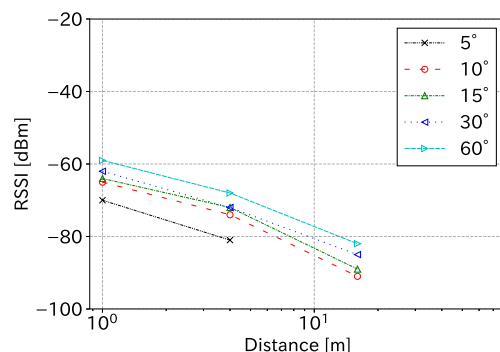


図 3: 地中の場合の受信電力

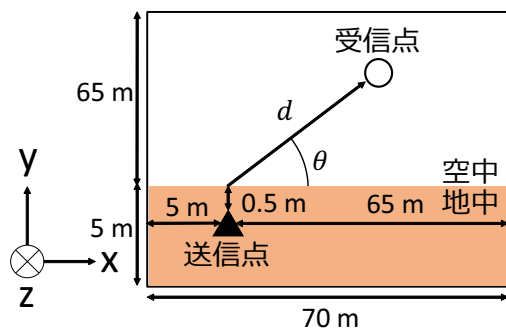


図 4: シミュレーション環境

土砂災害発生時に、地中の体積含水率が変化している事を想定して、複数の体積含水率において、距離 d [m] と伝搬損失との関係性を FDTD 法にて評価した。図 5 に仰角が 5 度で体積含水率が変化したときの伝搬損失を示す。図 5 から、全ての伝搬距離において、体積含水率が 20%, 25%, 30% と変化するにつれて約 4 dB 程度減衰量が増加することが分かる。これは体積含水率の増加にともなって、比誘電率や導電率が増加し電界強度が減衰する影響であると考えられる。

無人航空機の高度が低い状況や、送信端末との距離が遠い状況を想定して、異なる仰角においても、体積含水率と伝搬損失との関係性を評価した。図 6 に、仰角を 10 度、15 度、30 度、60 度における伝搬損失を示す。図 6 から、仰角によらず、体積含水率が 5% 増加すると約 4 dB 減衰量が大きくなることからわかる。このことから、実測結果と同様に、地中からの電波は、主に地上の送信端末直上付近を通過した後、空中では自由空間伝搬に従うと考えられる。図 7 に、体積含水率を 20% としたときの、仰角に対する減衰量を示す。図 7 から、仰角が小さくなるにつれて伝搬損失が大きくなることからわかる。これは、仰角が小さくなるにつれてフレネルゾーン内の地面の割合が大きくなるためだと考えられる。2次元空間での距離 1 m から 4 m になったときの自由空間損失の理論値は以下のように導出できる [2]。 $E_2(d)$ を距離 d [m] で 2次元空間の時の電界強度、 L を電力損失比とする。

$$E_2(d) \propto 1/\sqrt{d}$$

$$L = 10 \log_{10}(E_2(4)^2/E_2(1)^2) = -6 \text{ [dB]}$$

以上の式から、1 m と 4 m の間で 6 dB 低下する。しかし、図 5 の 1 m から 4 m の点を見てみると、約 7 dB 低下していることが見て取れる。これは、地中の影響を受けているためだと考えられる。4 m から 64 m の間では、6 dB に近い値となっていることから自由空間損失が支配的であると考えられる。

4 おわりに

本研究では、無人航空機による伝搬特性の測定と FDTD 法を用いた伝搬損失の調査による電波伝搬距離特性を調査した。伝搬特性の測定では、送信端末を地中 0.5 m に埋めた場合と地上に場合とでは約 30 dB の受信電力の差があった。FDTD 法のシミュレーションでは、体積含水率が 5% 増加すると約 4 dB 減衰量が大きくなることがわかった。今後は、実際の被災者検知を想定して

1. FDTD 法シミュレーションによる、様々な地中の体積含水率や送信端末の深さを変化させた際の伝搬損失の評価
2. 実機を用いたアンテナの方向を変化させたときの受信電力の測定

を行う予定である。

謝辞 本研究の一部は総務省 SCOPE 社会展開指向型 19168001, JSPS 科研費 17K06437, 19K24352, 20K19787 のもとに行なった。

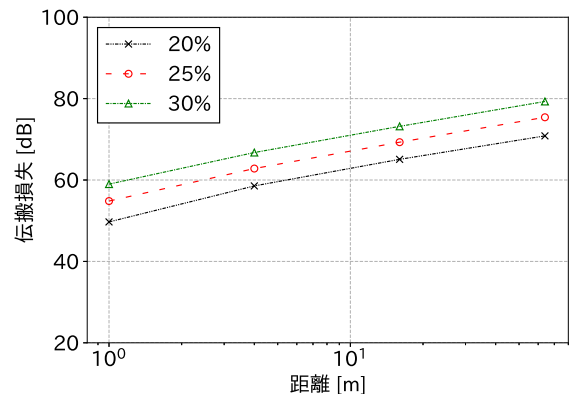


図 5: 仰角が 5 度で体積含水率が異なる時の伝搬損失

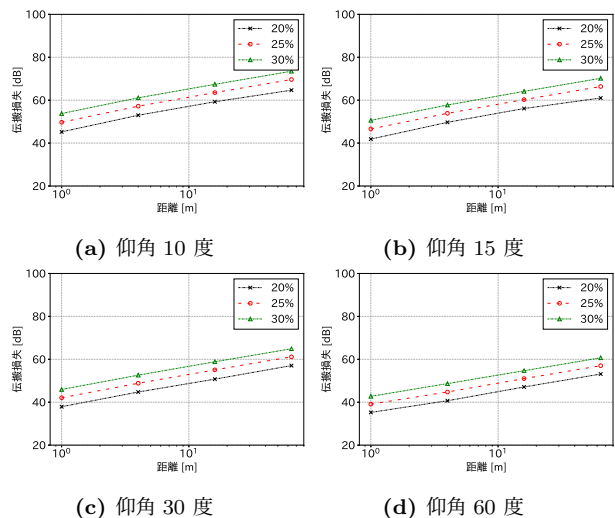


図 6: 仰角が異なるときの伝搬損失

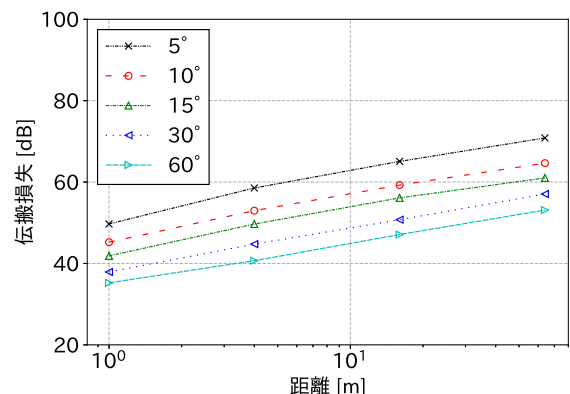


図 7: 体積含水率 20% の時の伝搬損失

参考文献

- [1] Y.-H. Ho, Y.-R. Chen, and L.-J. Chen, "Krypto: Assisting search and rescue operations using wi-fi signal with uav," Association for Computing Machinery, p.3-8, DroNet'15, New York, NY, USA, 2015.
- [2] 野本真一, "ワイヤレス基礎理論," pp.30-35, 電子情報通信学会, 2003.
- [3] G.C. Topp, J.L. Davis, and A.P. Annan, "Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines," Water Resources Research, vol.16, no.3, pp.574-582, 1980.
- [4] 鈴木敬一, 小松幹雄, "土質試料の電磁気特性測定," 地質ニュース, vol.2007, no.642, pp.52-59, 2008.