原 著 論 文

圃場における無線センサネットワークのための 920 MHz 帯電波伝搬特性評価

森部智也 *¹⁾・岡田 啓²⁾・小林健太郎²⁾・片山正昭²⁾

- 1) 名古屋大学大学院工学研究科 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 C3-1 (631)
2) 名古屋大学未来材料・システム研究所 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 C3-1 (631)

要旨

圃場における無線センサネットワーク (WSN: Wireless Sensor Network) の構築は、これを設置する圃場の電波伝搬特性を把握して行うことが重要である。圃場では送受信アンテナ間の農作物やビニールハウスといった様々な要因により電波伝搬特性に影響が現れることが考えられる。また、地面や金属製支柱等での電波の反射によるマルチパス波によってアンテナ設置位置の微小な違いが受信信号強度 (RSSI: Received Signal Strength Indicator) に大きく影響を与えることや、農作物の風による揺れなどが RSSI の時間変動を生じさせることが考えられる。そこで本論文では、WSN で使用される 920 MHz 帯無線通信を用いてソルガムが生育している圃場内、ビニールハウス内、基地局-圃場間という 3 つの環境において、電波伝搬特性として RSSI を測定する。測定結果に対して統計的な解析を行うことで距離減衰特性や RSSI のばらつきについても考慮して評価を行う。解析結果から、通信路上に作物や地面が存在するような環境における、RSSI 減衰の程度を確認する。また、送受信アンテナ付近や通信路上に金属が存在する環境や、通信路上に作物が存在するような環境における RSSI のばらつきの程度を確認する。

キーワード

無線センサネットワーク, 920 MHz, 電波伝搬特性, RSSI, 圃場

はじめに

無線センサネットワーク (WSN: Wireless Sensor Network) とは、複数のセンサから情報の収集を行う無線ネットワークであり、IoT (Internet of Things) を実現する重要な要素技術の一つとして様々な分野での活用が期待されている (Borges et al. 2014)。WSN を活用したアプリケーションの一つとして栽培管理システムが挙げられる。圃場に設置したセンサが農作物の生体情報を取得し、基地局においてこの情報を収集して作物の生育状況を管理することにより、効率的な栽培管理を実現することが考えられている (Ivanov et al. 2015)。

WSN の構築は、これを設置する圃場の電波伝搬特性を把握して行うことが重要である。圃場では農作物の有無や

建造物による遮蔽、ビニールハウスの屋内外といった様々な要因により電波伝搬特性に影響が現れることが考えられる。また、地面や金属製支柱等での電波の反射によるマルチパス波によってアンテナ設置位置の微小な違いが受信信号強度 (RSSI: Received Signal Strength Indicator) に大きく影響を与えることや、農作物の風による揺れなどが RSSI の時間変動を生じさせることが考えられる。そのため圃場における電波伝搬特性として、その環境に応じた距離減衰特性や RSSI のばらつきがどの程度発生するのかを把握することが重要である。

WSN の実環境への適用を扱っている先行研究 (Hu et al. 2010, 神能ら 2013) ではこのように電波伝搬特性を把握した上で WSN 構築を行うというアプローチが十分に行われていない。そのため、パケット誤りが多発していることが問題点として挙げられる。また、都市部や郊外地域で行われている電波伝搬特性の測定事例は多く存在する (Turkka and Renfos 2008, Seidel and Rappaport 1992) のに対

* Corresponding Author
E-mail: moribe@katayama.nuee.nagoya-u.ac.jp

し、圃場においては少数しか存在しない。さらに、圃場において電波伝搬測定を行なっている先行研究では、作物が存在しない圃場内では測定を行なっておらず、作物による電波伝搬損失を考慮していないことや（南川ら 2016）、RSSI のばらつきについて未考慮であること（Hara et al. 2016）も問題点として挙げられる。

本論文では、圃場における WSN の高信頼化に向け、圃場の様々な環境において RSSI を測定し、RSSI の距離減衰特性と標準偏差を指標とした電波伝搬特性の評価を行なう。距離減衰特性は一般に広く用いられている距離減衰指数を指標として用いる。また、シャドウイングなどの場所や周辺環境の影響による比較的緩やかな時間変化を表す短区間変動は対数正規分布に従うことが知られており、その特性はデシベルで表した RSSI の標準偏差で特徴付けられ、本論文でもこの標準偏差による評価を行う。圃場の様々な環境として、ソルガムが生育している圃場内、ビニールハウス内、基地局－圃場間という 3 つの環境を対象とする。ソルガムが生育している圃場内では作物による影響の評価を、ビニールハウス内では作物に加えビニールハウスの骨組みとなる金属の影響の評価を、基地局－圃場間では大規模農場内で飛び地になっている圃場と基地局の間に通信を行う際の中継機の必要性の把握に加え基地局－圃場間の土地の起伏による影響の評価を、それぞれ目的としている。これらの環境で 920 MHz 帯無線を用いて電波伝搬特性の測定を行い、測定結果に対して統計的な解析を行うことで距離減衰特性や RSSI のばらつきについても考慮して評価を行う。

測定環境

名古屋大学大学院生命農学研究科附属フィールド科学教育研究センター東郷フィールドの空撮画像を図 1 に示す。

本論文では図 1 に示すような農場内に点在している複数の圃場にセンサを配置して情報を取得し、基地局へ収集するネットワークを想定する。使用周波数帯は、センサネットワークにおいて使用される周波数帯域である ISM (Industry Science Medical) バンドとして割り当てられている 920 MHz 帯とする。920 MHz 帯の特徴としては他の ISM バンドと比べ、通信可能距離が長いことや電波の回折性が高いこと、伝送レートが高いことなどが挙げられる。本論文では、ソルガムが生育している圃場内、ビニールハウス内、基地局－圃場間という 3 つの環境において 920 MHz 帯無線の電波伝搬特性の測定及び評価を行う。

送受信機の構成を図 2 に示す。920 MHz 帯の無線モジュールである CRESSON-MD920 と外部アンテナ（GAF-121XSAXX）を搭載した送信機と受信機が 1 対 1 で通信を行い、電波伝搬特性の測定を行う。送信機では無線モジュールを PC に接続し、受信機では無線モジュールに小型 PC である Raspberry Pi model B+ を接続させ独立して稼働させる。測定諸元を表 1 に示す。

圃場内での電波伝搬特性

圃場内で通信を行う際には、主に通信路上に存在する作物が原因となり電波伝搬損失が発生することが考えられる。作物によりどの程度電波伝搬損失が発生するのかを把握することは、圃場における WSN 構築のために重要である。そこで、本論文ではソルガム圃場内において RSSI を測定することによって電波伝搬特性の評価を行う。送受信間距離と RSSI の関係から、距離減衰指数を求める。RSSI の標準偏差からアンテナ設置位置による影響や時間変動による影響を調べる。ソルガムの背丈が比較的高いため、作物の電波伝搬への影響が評価しやすいと考えられる。

図 1 東郷フィールド

送信機

受信機

図2 送受信機の構成

表1 測定諸元

無線規格	ARIB STD-T108 Ver1.0
中心周波数	922.5 [MHz]
送信電力	13 [dBm]
変調方式	2-GFSK
送信レート	100 [kbps]
再送回数上限	3 [回 / packet]
パケット長	256 [byte]

測定条件

測定環境を図3に示す。図3中の(a)は名古屋大学大学院生命農学研究科附属フィールド科学教育研究センター東郷フィールド内のソルガム圃場内、(b)は(a)に隣接する作物の生育を行っていない圃場内、(c)は名古屋大学構内の見通しの良い道路である。およそ3m程度の高さのソルガムが生育している圃場(図3-(a))において測定を行う。送受信機のアンテナ高によって、作物の電波伝搬への影響が変化すると考えられるため、アンテナ高は1.7mと3.1mの二つの場合において測定する。このアンテナの高さに設定した理由は、1.7mは作物の背丈よりも低いことに加え、後述するビニールハウス内、基地局-圃場間での測定結果との比較を行うためであり、3.1mは作物の高さと同程度にするためである。またソルガム圃場における

表 2 測定時の気象条件

場所	日付	天気	温度	湿度	風速
圃場内	27.07.13	晴れ	38.4 [°C]	51.9 [%]	6 [m/s]
大学構内	27.06.13	晴れ	31.0 [°C]	50.4 [%]	1 [m/s]
ビニールハウス内	27.10.20	晴れ	28.5 [°C]	70.5 [%]	—
基地局－圃場間	27.10.20	晴れ	27.5 [°C]	38.3 [%]	2 [m/s]

図 3 圃場内の測定環境

図 4 測定エリアと測定ポイント

測定結果との比較を目的とし、背丈の高い作物が生育しておらず見通しを確保できる圃場（図 3-(b)）、名古屋大学構内の地面がアスファルトで見通しが確保できる道路（図 3-(c)）においても測定を行う。測定を行った当時の気象条件を表 2 に示す。

本論文では距離を変えて複数の測定エリアで測定を行う。各測定エリアでは、図 4 に示すように一直線上に 15 cm 間隔で 3 つの測定ポイントを設けている。無線通信ではアンテナ設置位置が半波長程度異なるだけで独立な電波伝搬環境になることが知られており、920 MHz 帯での半波長は約 15 cm である。各測定ポイントにおいてアンテナを設置し固定パターンのデータ送信を 1 秒間隔で 5 回ずつ行うことで、RSSI を測定する。

図 5 圃場内の RSSI 距離減衰特性(アンテナ高 1.7 m)

測定結果

アンテナの高さが 1.7 m の場合の、距離に対する RSSI の値とその近似線を図 5、アンテナの高さが 3.1 m の場合を図 6 に示す。近似には、各測定エリアでの RSSI の平均値をデータ組として最小二乗法を用いた。図 5、図 6 中の R^2 は決定係数を示している。また近似線の傾きから、距離に対する RSSI の減衰の程度を表す指標である減衰指数を求める。図 5 の結果から、作物が有る圃場内での減衰指数は 3.9 と、他の環境に比べ高い値となった。これは作物により直接波が遮られたために見通しが無い (NLOS: Non

図6 圃場内のRSSI距離減衰特性(アンテナ高3.1 m)

表3 圃場内におけるRSSIの標準偏差

場所	アンテナ高 [m]	σ_{point} [dB]	σ_{area} [dB]
圃場内 (作物有り)	1.7	1.7	2.6
	3.1	3.6	5.0
圃場内 (作物無し)	1.7	1.0	2.1
	3.1	1.9	2.3
大学構内	1.7	1.0	4.9

Line of Sight) 環境となり、回折や反射により電波が届くため減衰指数が増加したと考えられる。また図6の結果からアンテナ高が3.1 mの際でも作物が有る圃場内での減衰指数は2.9と、作物が無い環境よりも高い値となったが、通信路上の作物の存在による減衰指数の増加はアンテナ高が1.7 mの時の方が大きい。これはアンテナ高が3.1 mの際には作物によって電波伝搬が完全には妨げられなかったことに起因していると考えられる。

RSSIの標準偏差を表3に示す。ここで、 σ_{point} は測定ポイント毎の標準偏差の平均値であり、RSSIの時間変動の大きさを示す。 σ_{area} は測定エリア毎の標準偏差の平均値であり、RSSIの時間変動に加えアンテナ設置位置の違いによる影響を示している。表3から、作物が存在する圃場内でアンテナ高が3.1 mの場合に σ_{point} 、 σ_{area} ともに最大となっていることが読み取れる。作物の高さは約3 mであり、アンテナとほとんど同じ高さとなっている。そのため風による作物の揺れにより直接波の減衰度合いが変化し、標準偏差の増大につながったと考えられる。なお、今回の測定は風速の異なる日との比較を行っていない。実際に作物の揺れが電波伝搬に影響をしていることを検証するためには、風速の異なる日との比較が必要となる。また作物無しの圃場と大学構内では σ_{point} が同じ値であり、周辺環境の変化

図7 ビニールハウス内の測定環境

の程度は同じであったと考えられる。一方、 σ_{area} では作物無しの圃場と比べ大学構内において大きな値となった。それぞれの環境において、地面が圃場内では土、大学構内ではアスファルトと反射面が異なる。そのため大学構内では測定エリア内におけるアンテナ設置位置によって反射波の影響が大きく変化したため、このような結果になったと考えられる。作物の存在にかかわらず、アンテナ高が高い場合に σ_{point} 、 σ_{area} ともに増大していることがわかる。高さを確保するためにアンテナをポールに設置しているが、このポールの揺れが σ_{point} 、 σ_{area} が増大する原因として考えられる。

ビニールハウス内での電波伝搬特性

ビニールハウス内の環境の特徴として、ビニールハウスの骨組みとなる金属や、通信路上の作物などが挙げられる。これらは電波伝搬の損失要因となることが考えられる。そこで、ビニールハウス内で電波伝搬特性を測定することで、これらの要因による影響を評価する。

測定条件

高さ約1.7 mのトマトが生育しているビニールハウス内で測定を行った。測定環境の概要を図7に示し、測定当時のビニールハウス内で撮影した写真を図8に示す。なお、図7の丸中の数字は測定エリア番号を示している。また、測定を行った際の気象条件を表2に示す。

ビニールハウス内での測定方法としては、圃場内での測定と基本的には同じである。圃場内の測定におけるRSSI測定では、1つの測定ポイントに対してRSSIの測定を5回ずつ行っていたが、今回は10回測定を行った。送受信間距離はハウスの短辺6 m、長辺27 m、斜辺約27.7 mであり、アンテナ高は0.1 m・1.7 m・2.4 mである。この高さにアンテナを設定した理由は、ビニールハウスの規模が小さくRSSIの電波伝搬損失も小さく測定値に大きな差が

図 8 ビニールハウス内の様子

見られないことが考えられる。そこで一般的に RSSI の減衰が大きくなるような 0.1 m のアンテナ高で測定を行うことで、電波伝搬特性評価を容易にすることを狙いとする。1.7 m では作物の背丈と同じ高さにするためである。2.4 m はビニールハウス内で設置可能である高さの上限となっている。

測定結果

それぞれの送信アンテナ設置位置における RSSI の平均

値と標準偏差を表 4 に示す。また、測定エリアの番号は図 7 中の番号と対応している。 σ_{point} は表 3 に比べ小さい値となった。これは、圃場内での測定では主に風によって作物が揺れることが RSSI の時間変動につながったと考えられるが、ビニールハウス内では風が遮られるため、環境変動が小さくなり、RSSI の時間変動が小さくなったと考えられる。また、アンテナを地表面に近い位置に設置している測定エリア 3, 6, 9 においては、標準偏差 σ_{area} は比較的大きい値となった。これは、アンテナ設置位置が地面に近

表 4 ビニールハウス内における RSSI の測定結果とその標準偏差

測定エリア	アンテナ高 [m]	RSSI [dBm]	σ_{point} [dB]	σ_{area} [dB]
1	2.4	-49	0.34	2.6
2	1.7	-53	0.26	1.3
3	0.1	-53	0.58	5.5
4	2.4	-72	0.58	1.7
5	1.7	-73	0.80	2.3
6	0.1	-73	1.2	6.0
7	2.4	-78	1.1	7.1
8	1.7	-75	0.50	4.5
9	0.1	-82	0.58	8.3

く反射波による影響が大きく出たためではないかと考えられる。さらに、測定エリア 7 では、測定エリア 8 と比べアンテナ高が高いにも関わらず RSSI の減衰に加え、大きな標準偏差 σ_{area} が得られた。これは、ハウス内の中央上部に多く配置された金属が電波伝搬特性の劣化につながったものと考えられる。

基地局－圃場間での電波伝搬特性

農場内の各圃場に設置された送信機から基地局へ情報を収集するために、基地局と各圃場内の送信機との間で通信を行うことを想定する。このとき、農場内の特徴的な環境としては草木の存在、反射面が土であることなどが挙げられ、これらは電波伝搬に影響を与えると考えられる。さらに、農場内の起伏により送受信アンテナ間のフレネルゾーン内に地面が入り込むような場合も考えられる。そこで、農場内の各地に測定エリアを設け基地局と通信し RSSI を測定することで、基地局－圃場間での電波伝搬特性の評価を行う。

測定条件

基地局－圃場間での測定環境、農場内の高低差カラーマップを図 9 に示す。なお、図 9 中の数字は測定エリア番号を示している。フレネルゾーン内に地面が入り込むことによる電波伝搬特性への影響を評価するため、Google MAP により標高データを取得し、フレネルゾーン内に入り込む地面の割合を概算した。図 9 では、送受信間においてフレネルゾーンに入り込んでいる地面の割合が示してあり、10% 以下の測定エリアを“○”、10%～20% を“△”、20% 以上を“□”とした。測定方法はビニールハウスの場合と同じであり、各測定ポイントにおいて固定パターンのデータ送信を 1 秒間隔で 10 回ずつ行い、RSSI を測定する。測定を行った際の気象条件を表 2 に示す。また、送受信間距離は 82–300 m であり、アンテナ高は 1.7 m である。

図 9 基地局－圃場間通信の測定環境

圃場内、ビニールハウス内での測定結果との比較のため、アンテナ高を揃えている。

測定結果

RSSI の測定結果及びこの標準偏差を表 5 に示す。測定エリアの番号は図 9 中の数字と対応している。表 3 や表 4 と比べ全体的に σ_{point} の値は小さい。これは、送受信間距離が大きいため、植物の揺れなどによる微小な環境変化はあまり電波伝搬に影響しなかったためと考えられる。なお、測定エリア 9 では付近で農作業が行われており、測定エリア 10 では送受信間においてトラクターを用いた大規模な農作業が行われていた。これらの送受信間環境の変化が起因して σ_{point} が高くなったと考えられる。

フレネルゾーンの影響を調べるために、“○”、“△”、“□”それぞれの RSSI 距離減衰特性とその近似線を図 10 に示す。図 10 中の R^2 は決定係数を示している。図 10 では環境の違いによる距離減衰特性の違いが分かるよう送受信環境を“○”、“△”、“□”でプロットしている。“○”では減衰指数が 1.8 となった。“○”ではフレネルゾーン内に

表 5 基地局－圃場間における RSSI の測定結果とその標準偏差

測定エリア	送受信間距離 [m]	地面の割合	RSSI [dBm]	σ_{point} [dB]	σ_{area} [dB]
1	82	0.13	-88	1.9	2.6
2	100	0.08	-74	0.94	5.9
3	150	0.03	-73	0.55	3.0
4	150	0.02	-81	0.55	2.7
5	150	0.07	-78	0.61	0.8
6	150	0.22	-92	0.79	4.2
7	200	0.35	-100	0.97	5.3
8	200	0.02	-82	0.82	2.6
9	250	0.05	-80	2.7	11
10	250	0.24	-102	3.2	4.6
11	300	0.02	-82	1.5	3.4

図 10 基地局－圃場間の RSSI 距離減衰特性

ほとんど地面が存在しない環境であるため、自由空間に近い状態での電波伝搬になったと考えられる。一方、“△”では減衰指数が 4.0 となった。これは地面が障害物となり電波伝搬が妨げられたことに起因していると考えられる。

図 11 にフレネルゾーン内の地面の割合に対する σ_{area} を示す。図 11 においても環境の違いによる距離減衰特性の違いが分かるよう送受信環境を“○”，“△”，“□”でプロットしている。図 11 からは、フレネルゾーン内に占める地面の割合が増加するにつれ σ_{area} が増加していることが分かる。フレネルゾーン内に占める地面の割合が高い場合には、直接波が減衰する。反射波は大地のみでなく周辺の木々、建物等による反射波もある。このため、直接波に比べ反射波が支配的になり、半波長程度のアンテナ設置位置の違いが RSSI に大きく影響したものと考えられる。また測定エリア 2, 9 では地面の割合は小さいが、大きな σ_{area}

図 11 フレネルゾーン内の地面の割合による測定エリア内の標準偏差 σ_{area} の特性

が得られた。測定エリア 2 では、送受信間に植物を栽培するための金属の支柱が多数存在していた。また測定エリア 9 では、測定エリア 9 付近に金属性建造物が存在していた。これらが電波の反射を引き起こし、アンテナ設置位置の半波長程度の変化により、 σ_{area} が増大したと考えられる。

考察

本論文での測定では、測定時間は短くなっており、限定された条件下のものとなっている。そのため、実際に圃場において測定した電波伝搬特性の一例として価値がある。あくまで一例であるため、測定された値そのものについては、有効性は低いと考えられる。しかし、圃場内、ビニールハウス内、基地局－圃場間での通信における減衰特性や

標準偏差の示す傾向に関しては、他の圃場においても同様であると考えられ、本論文で得られた電波伝搬特性の知見が有効であると考えられる。また、本論文では RSSI の劣化を引き起こす要因として作物・金属・地面等が考えられたため、他の圃場において電波伝搬特性を測定する際にはこれらの影響を考慮した測定を行うべきであると考えられる。

電波伝搬において一般に距離減衰、シャドウイング等を要因とする短区間変動による減衰、送受信機の移動等によって生じるフェージング等の瞬時変動による減衰によって、信号は減衰する。本論文では送受信機の移動は生じないため、このうち距離減衰と短区間変動による減衰に着目し評価を行った。上述の要因により決まる RSSI が雑音電力に対する比率が低くなる場合にパケットの伝送誤りが発生する。距離減衰が大きいことに加え、短区間変動の大きさを示す σ_{area} が大きい場合には、アンテナ設置位置の微小な違いや時間による RSSI の変化が大きく、パケット誤りが多発することが考えられる。例として、作物が有る圃場内においてアンテナ高 3.1 m の場合が圃場内で最もパケット誤りが発生していた。送受信間距離が最大の 70 m の際にパケット誤り率も最大の 16×10^{-2} となった。これは距離減衰が大きいことに加え、圃場内において σ_{area} が最も大きかったことが原因と考えられる。このように距離減衰、 σ_{area} が大きいような場合には、パケット誤りを減らすために送信電力を上げるかアンテナ設置位置を変えるかのどちらかが必要になる。WSN では法規制等により送信電力を上げることは難しく、アンテナ設置位置の調整が重要となる。

むすび

圃場における WSN の高信頼化に向けて、圃場の様々な環境における電波伝搬特性の把握が重要となる。本論文では、圃場内、ビニールハウス内、基地局－圃場間において 920 MHz 帯無線通信を用いて RSSI の測定を行なうことで電波伝搬特性の評価を行った。

その結果、ソルガム圃場内においては、通信路上に作物が存在する環境において、減衰指数は 3.9 となった。また、作物の背丈とアンテナ高がほぼ等しいような環境では RSSI の標準偏差が大きくなった。これは風による作物の揺れが電波伝搬に大きく影響していると考えられる。ビニールハウス内では、周辺環境の変化による電波伝搬への影響は小さいことが分かった。また、ビニールハウス内では、アンテナ設置位置による RSSI のばらつきが大きくなった。これは主に金属による強い反射波が存在する影響であると考えられる。よって、アンテナを設置する際には測定エリア内における設置位置の調整が重要になると考えられ

る。基地局－圃場間では、フレネルゾーン内に入り込む地面の割合によって、減衰指数が 1.8 から 4.0 に変化した。またフレネルゾーン内に占める地面の割合の増加により測定エリア内での RSSI のばらつきが増加した。さらに、アンテナ設置位置付近や送受信間に存在する金属や建造物による影響も考慮する必要があると考えられる。

本論文で得られた知見により、距離減衰に加え、RSSI のばらつきを考慮してアンテナ設置位置を決めることで、WSN の高信頼化が期待される。

謝辞

本論文をまとめるにあたり熱心にご指導くださった名古屋大学教養教育院山里敬也教授に感謝する。本成果は、農研機構生物系特定産業技術研究支援センター革新的技術創造促進事業（異分野融合共同研究）の研究成果である。記して謝意を表する。

引用文献

- Borges, M. L., F. J. Velez and A. S. Lebres (2014) Survey on the characterization and classification of wireless sensor network applications, *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, 16(4): 1860–1890.
- Hara, M., H. Shimasaki, Y. Kado and M. Ichida (2016) Effect of Vegetation Growth on Radio Wave Propagation in 920-MHz Band, *IEICE Trans. Commun.*, 99(1): 81–86.
- Hu, W., T. D. Le, P. Corke and S. Jha (2010) Outdoor sensor network design and deployment: Experiences from a sugar farm, *IEEE Pervasive Computing*, 11(2): 82–91.
- Ivanov, S., K. Bhargava and W. Donnelly (2015) Precision farming: Sensor analytics, *IEEE Intell. Syst.*, 30(4): 76–80.
- 神能孝誠・中村優吾・松原 拓・藤原孝洋・上原秀幸 (2013) 無線センサネットワークを適用した加速度データ収集システムに関する一検討：システムモデルの性能評価に基づく実験的考察, 電子情報通信学会技術研究報告, 113(132): 147–152.
- 南川 俊・前山利幸・竹下正哲 (2016) 928 MHz 帯を使った農場モニタリングシステムにおける伝搬特性, 電子情報通信学会技術研究報告, 115(390): 27–32.
- Seidel, Y. S. and T. S. Rappaport (1992) 914 MHz path loss prediction models for indoor wireless communications in multifloored buildings, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 40(2): 207–217.
- 滝内基弘・橋本 康 (1977) 放射温度計による葉温測定と植物生体情報との関連, 計測自動制御学会論文集, 13(5): 482–488.
- Turkka J. and M. Renfors (2008) Path loss measurements for a non-line-of-sight mobile-to-mobile environment, *International Conference on ITS Telecommunications*, 274–278.

受付日 2016 年 11 月 29 日
受理日 2017 年 2 月 2 日
担当分野 工学分野

Evaluation of 920 MHz Radio Wave Propagation Characteristics for Wireless Sensor Networks in a Farm

Tomoya Moribe^{*1)}, Hiraku Okada²⁾, Kentaro Kobayashi²⁾ and Masaaki Katayama²⁾

*1) Department of Electrical Engineering and Computer Science, Nagoya University,
Furo, Chikusa, Nagoya 464-8603, Japan*

*2) Institute of Materials and System for Sustainability, Nagoya University,
Furo, Chikusa, Nagoya 464-8603, Japan*

Abstract

To implement reliable wireless sensor networks suitable for use in “smart agriculture”, it is important to understand the radio propagation characteristics in the farm environment. In a farm field, crops and structures such as glasshouses or vinyl houses that lie between transmitter and receiver nodes affect radio wave propagation. Owing to multipath effects that arise from reflections of radio waves from crops, the ground, and other obstacles, slight differences among the node positions can affect the received signal strength indicator (RSSI). In addition, crops that are shaken by the wind introduce temporal variation into RSSI. In this paper, we measured RSSI based on radio propagation characteristics in the 920 MHz band, which is used in the Wi-SUN standard for smart agriculture, in a farm field, inside a vinyl house, and between the base station and farm fields, and evaluated signal attenuation as a function of distance and the variability of RSSI by analyzing signal data. We measured the decay characteristics of the signal in a farm where crops and other obstacles exist along the radio wave’s propagation path. In addition, we characterized the variation of RSSI in a farm, where obstacles exist near the transmitter or receiver nodes and crops exist along the radio wave’s propagation path.

Keywords

wireless sensor network, 920 MHz, radio propagation, RSSI, farm field

* Corresponding Author

E-mail: moribe@katayama.nuee.nagoya-u.ac.jp