**استفاده از فناوری اینترنت اشیا (IoT) در پهپادها برای بهبود کیفیت محصولات کشاورزی**

Abstraction

این مقاله به بررسی استفاده از فناوری اینترنت اشیا (IoT) در پهپادها برای بهبود کیفیت محصولات در مزارع کشاورزی می‌پردازد. در این تحقیق توضیح داده می‌شود که چگونه وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین (UAVs) که به دوربین‌ها، حسگرها و ماژول‌های یکپارچه‌کننده مجهز شده‌اند، می‌توانند به کشاورزی دقیق کمک کنند. راه‌حل‌های پیشنهادی در این مقاله بر یکپارچه‌سازی IoT و یادگیری ماشین (Machine Learning) تمرکز دارند تا بهره‌وری کشاورزی را بهبود بخشند.

پهپادهای مجهز به فناوری IoT می‌توانند داده‌های دقیق‌تری از مزارع جمع‌آوری کنند و به کشاورزان در تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر داده‌ها کمک کنند. با نصب حسگرهای مختلف بر روی پهپادها، اطلاعات دقیقی درباره‌ی وضعیت خاک، دما، رطوبت و میزان رشد گیاهان به‌دست می‌آید. این اطلاعات به‌صورت همزمان به سرورهای مرکزی منتقل می‌شود و با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، تحلیل و پردازش می‌گردد. نتایج حاصل از این تحلیل‌ها می‌تواند به کشاورزان کمک کند تا زمان‌بندی بهتری برای آبیاری، کوددهی و سم‌پاشی محصولات خود داشته باشند.

یکی از نوآوری‌های مهمی که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است، استفاده از ماژول‌های Raspberry Pi 3 B برای کنترل پهپادها است. این ماژول‌ها نه‌تنها کنترل پهپادها را بهبود می‌بخشند، بلکه امکان یکپارچه‌سازی آسان‌تر پهپادها با سایر سیستم‌های IoT را نیز فراهم می‌آورند. با استفاده از این ماژول‌ها، پهپادها قادر به جمع‌آوری داده‌ها در زمان واقعی و پردازش اولیه آن‌ها هستند که این امر به تصمیم‌گیری سریع‌تر و دقیق‌تر کشاورزان کمک می‌کند.

این مقاله همچنین به بحث درباره چگونگی استفاده از این فناوری‌ها برای بهبود کیفیت محصولات کشاورزی می‌پردازد. با به‌کارگیری پهپادهای مجهز به IoT، کشاورزان می‌توانند به‌صورت پیشگیرانه به مشکلاتی مانند بیماری‌های گیاهی، آفات و کمبود مواد مغذی رسیدگی کنند، که در نهایت به افزایش کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی منجر می‌شود.

در نتیجه، یکپارچه‌سازی فناوری اینترنت اشیا و یادگیری ماشین در پهپادها، می‌تواند تحولی بزرگ در زمینه کشاورزی دقیق ایجاد کند و به کشاورزان کمک کند تا بهره‌وری بیشتری از منابع موجود خود داشته باشند.

Introduction

وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین (UAV) از سال ۱۹۸۰ به کار گرفته شده‌اند و کاربردهای آن‌ها به‌سرعت در حال گسترش است. برای پاسخ به تقاضای افزایش جمعیت و تولید مواد غذایی، پهپادها در کشاورزی به دلیل دقت و کارایی بالا و توانایی غلبه بر موانعی که ماشین‌آلات سنتی قادر به رفع آن‌ها نیستند، یک راه‌حل مناسب هستند و می‌توانند با اندازه‌گیری‌های دقیق، جمع‌آوری داده‌های بلادرنگ و مدیریت کارآمد محصولات، این صنعت را بهبود بخشند. با تجاری‌سازی اینترنت اشیا (IoT)، مفاهیم مختلف IoT را می‌توان در پهپادهای کشاورزی یکپارچه کرد تا به ارتقای صنعت کشاورزی کمک کنند. پهپادها به دلیل سهولت در استفاده و کارایی بالا، توسط کشاورزان برای جمع‌آوری داده‌های دقیق و بلادرنگ قابل‌استفاده هستند. از طریق مکان‌یابی، نقشه‌برداری و تحلیل تصاویر با وضوح بالایی که پهپادها ثبت می‌کنند، مدیریت کارآمدتر محصولات ممکن می‌شود.

در این مقاله، کارهای مرتبط با پهپادهای مشابه برجسته شده است و به همراه آن‌ها راه‌حل‌های احتمالی نیز ارائه گردیده است. با استفاده از فناوری‌های کارآمد و سازگار، چندین راه‌حل پیشنهادی مطرح شده‌اند که می‌توانند با Raspberry Pi یکپارچه شوند تا پهپادهای بهتری برای کشاورزی فراهم کنند. تصاویر ماهواره‌ای برای کاربردهایی مانند شناسایی درختچه‌های پراکنده و علفزارها برای نظارت بر بیابان‌زایی با دقت‌های ۷۹٪ و ۶۶٪ به ترتیب استفاده می‌شوند. با این حال، برای برآورده کردن نیازهای کشاورزی دقیق، باید از پهپادها استفاده شود. پهپادها اطلاعات دقیق‌تری از سطح زمین فراهم می‌کنند و تصاویر دقیق‌تری ثبت می‌کنند زیرا به زمین نزدیک‌تر هستند. با استفاده از پهپادها، می‌توان فاصله از زمین را تنظیم و اندازه‌گیری کرد، سطح عمق را محاسبه نمود، میزان تنش آبی محصولات را اندازه‌گیری کرد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی محصولات را تحلیل کرد. به همین ترتیب، یک پهپاد که به ابزارها و فناوری‌های مناسب مجهز شده باشد، می‌تواند کشاورزی دقیق و کارآمد را ممکن سازد.

Related Work

Deepak Murugan و همکارانش رویکردی برای نظارت بر کشاورزی دقیق پیشنهاد داده‌اند. این روش به تشخیص بین مزارع پراکنده و متراکم با استفاده از داده‌های موجود از ماهواره و پهپاد کمک می‌کند. این رویکرد با استفاده از آمار تصویری یک منطقه، به بهینه‌سازی فعالیت پهپاد کمک می‌کند. [2]

Paolo Tripicchio و همکارانش بر محبوبیت پهپادها در کشاورزی تأکید کرده‌اند. با استفاده از حسگر RGB-D متصل به پهپاد، می‌توان تکنیک‌های مختلف شخم‌زنی را تشخیص داد. دو الگوریتم مختلف برای تمایز بین زمین‌های شخم‌زده به کار گرفته شده است. [3]

Rodrigo Filev Maia و همکارانش درباره یک دستگاه IoT که برای نظارت بر پارامترهای مختلف کشاورزی استفاده می‌شود، بحث کرده‌اند. این دستگاه از شبکه‌ای از حسگرها برای اندازه‌گیری دمای خاک، رطوبت و میزان رطوبت استفاده می‌کند. این آزمایش در سائوپائولو، برزیل انجام شد. داده‌های اقلیمی مرجع برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های مختلف در مورد زندگی محصولات و پایداری آن‌ها استفاده شد. [4]

Marthinus Reinecke و همکارانش استفاده از پهپادها را برای بهبود کیفیت محصولات کشاورزی پیشنهاد کرده‌اند. این روش می‌تواند به کشاورزان کمک کند تا با شناسایی مشکلات پیش از وقوع، تولید خود را افزایش دهند. محصولات را می‌توان با استفاده از دوربین‌های خاص متصل به پهپاد برای تشخیص کمبود آب و آفات مضر مدیریت کرد. [9]

Floriano De Rango و همکارانش استفاده از یک شبیه‌ساز را که برای مزارع کشاورزی مناسب است، پیشنهاد کرده‌اند. این شبیه‌ساز با پهپاد هماهنگ می‌شود و در حضور حشرات مضر در محصولات، فعالیت پهپاد را کنترل می‌کند. همچنین پارامترهای دیگری مانند انرژی و محدوده ارتباطی پهپادها را در نظر می‌گیرد. [10]

D. Yallappa و همکارانش طراحی یک پهپاد را پیشنهاد کرده‌اند که برای پاشش مواد شیمیایی ضروری بر روی محصولات مفید است. این روش به کاهش هزینه استفاده از سموم کمک می‌کند. گفته شده است که اسپری‌کننده پیشنهادی شامل ۶ موتور BLDC است. یک محفظه مخروطی با ظرفیت ۵ لیتری برای نگهداری محلول سم استفاده شده است. یک موتور DC به همراه پمپ برای فشرده‌سازی محلول به قطرات ریز از طریق چهار نازل استفاده شده است. کل فرآیند با کمک یک فرستنده در سطح زمین کنترل می‌شود. یک دوربین برای نظارت بر عملیات اسپری زنده استفاده شده است. [11]

Gas Sensor

بینی الکترونیکی یا e-nose یک دستگاه الکترونیکی است که جایگزین و انجام‌دهنده کار یک بینی بیولوژیکی است. با کمک مجموعه‌ای از حسگرهای الکترونیکی و شبکه‌های عصبی (برای شناسایی الگوها)، بینی‌های الکترونیکی می‌توانند اجزای خاص یک بو را شناسایی کنند. یکی دیگر از مشکلاتی که کشاورزان ممکن است با آن روبرو شوند، رسیدن زودرس میوه‌ها است و کشاورزان نیاز دارند که زمان دقیق برداشت میوه را بدانند، که این امر با استفاده از حسگرها قابل دستیابی است. این کار را می‌توان با استفاده از حسگرهای Taguchi ساخت چین برای تشخیص گازهای خاص انجام داد. در حسگرهای Taguchi، اکسیژن موجود در هوا بر سطح یک دیود نیمه‌رسانا قلع جذب می‌شود و باعث کاهش مقاومت می‌گردد. پس از آنکه حسگر گرم‌شده با یک گاز قابل‌احتراق تماس پیدا می‌کند، گاز با اکسیژن واکنش نشان می‌دهد و اکسیژن را از سطح حسگر حذف می‌کند. این حسگر می‌تواند برای شناسایی گازهایی مانند اتیلن، پروپان و متان استفاده شود.

RGB-D Sensor

RGB-D یک نوع خاص از دستگاه‌های حسگر عمق (depth sensor) است که در ارتباط با یک دوربین RGB کار می‌کند. این دستگاه به تصویر معمولی، اطلاعات عمقی را بر اساس هر پیکسل اضافه می‌کند. یک حسگر مادون‌قرمز داده‌های عمق را ارائه می‌دهد که با یک دوربین RGB کالیبره شده هماهنگ می‌شود. این فرآیند تصویری RGB تولید می‌کند که به هر پیکسل آن یک عمق اختصاص داده شده است. پروژکتور مادون‌قرمز الگوهای نقطه‌ای از پیش تعریف‌شده‌ای را منتشر می‌کند و تغییر جانبی بین پروژکتور و حسگر، تغییر الگوهای نقطه‌ای را نشان می‌دهد که به نوبه خود عمق ناحیه مورد بررسی را تعیین می‌کند. یک نمای ترکیبی از این داده‌ها به‌صورت یک ابر نقطه (point cloud) است، که مجموعه‌ای از نقاط در فضای سه‌بعدی را تشکیل می‌دهد. هر نقطه می‌تواند ویژگی‌های اضافی خاصی داشته باشد که در مورد حسگر RGB-D، این ویژگی رنگ است. این فناوری دارای مجوز برای استفاده در حسگرهای تجاری موجود مانند Asus Xtion PRO و Microsoft Kinect است.

Adafruit AMG8833 IR Thermal Camera

دوربین حرارتی مادون‌قرمز Adafruit AMG8833 IR Thermal Camera Breakout یک آرایه 8x8 از حسگرهای حرارتی است که می‌تواند با Raspberry Pi یکپارچه شود. زمانی که این حسگر با ماژول Raspberry Pi ترکیب می‌شود، یک آرایه از 64 قرائت دمای فردی با دمای بالاتر از 12 درجه سانتی‌گراد ارائه می‌دهد. این حسگر قادر به اندازه‌گیری دماهایی از 0 درجه سانتی‌گراد تا 80 درجه سانتی‌گراد (32 درجه فارنهایت تا 176 درجه فارنهایت) با دقت +- 2.5 درجه سانتی‌گراد (4.5 درجه فارنهایت) است. همچنین می‌تواند انسان را از فاصله‌ای تا 7 متر (23 فوت) شناسایی کند.

Raspberry Pi Model 3 B

این آخرین مدل از نسل سوم Raspberry Pi است. این یک SBC (رایانه تک‌برد) کوچک و کم‌هزینه مبتنی بر ARM است که توسط بنیاد Raspberry Pi ایجاد شده است. از طریق این ماژول، می‌توان معادل‌های دیجیتال پارامترهای به‌دست‌آمده را پس از تبدیل، از طریق اینترنت به هر منطقه ذخیره‌سازی مبتنی بر ابر ارسال کرد. داده‌های ذخیره‌شده به این شکل، برای اهداف نظارتی و همچنین تحلیل اطلاعات مفید است. حسگر RGB-D را می‌توان در مدل Raspberry Pi تعبیه کرد تا داده‌های به‌دست‌آمده از طریق آن به فضای ذخیره‌سازی ابری ارسال شود.

Methodology

* در پهپادها، به جای استفاده از تکنیک‌های چندطیفی مرسوم، تصویربرداری فراطیفی یک راه‌حل بهتر برای ارائه داده‌های دقیق است، زیرا ۱۰ برابر قوی‌تر است. تصویربرداری فراطیفی بسیار پیچیده‌تر است و تنها قالب تصویربرداری است که امکان استفاده از هوش مصنوعی را برای پیش‌بینی عملکرد محصول، کاربرد دقیق سموم و کودها و سایر ورودی‌ها مانند نیروی کار و آب فراهم می‌کند. همچنین، در مقایسه با سایر تکنیک‌ها، تصویربرداری فراطیفی امکان ثبت تصاویر دقیق‌تر در هر دو محدوده طیفی و فضایی را فراهم می‌کند. حسگرهای فراطیفی قادر به اندازه‌گیری صدها باند هستند و تصویربرداری فراطیفی منجر به ظهور سیستم‌های پهپادی سبک‌تر و فشرده‌تری شده است که می‌توانند در کشاورزی مدرن ادغام شوند.
* استفاده از دوربین‌های حرارتی یا حرارت‌سنج می‌تواند به مدیریت کشاورزی به‌طور قابل توجهی کمک کند، از طریق نظارت بر ویژگی‌های حرارتی گیاهان و محصولات و همچنین تشخیص حضور حیات وحش مضر در مزارع. علاوه بر این، تصویربرداری حرارتی به ما کمک می‌کند تا بیماری‌های گیاهی، کمبود آب و سایر فرآیندهای فیزیولوژیکی را پایش کنیم. سیستم Workswell WIRIS نمونه‌ای از چنین سیستمی است که به کاربران امکان می‌دهد این وظایف را انجام دهند. سیستم دیگری که می‌تواند با Raspberry Pi ادغام شود، دوربین حرارتی مادون‌قرمز Adafruit AMG8833 است که یک آرایه ۸x۸ از حسگرهای حرارتی دارد. این حسگر زمانی که با ماژول Raspberry Pi ادغام می‌شود، یک آرایه از ۶۴ قرائت دمای فردی را با دمای بیش از ۱۲ درجه سانتی‌گراد ارائه می‌دهد.
* یکی دیگر از ویژگی‌هایی که می‌توان در مدل پیشنهادی نصب کرد، دوربین RGB-D برای ثبت تصاویر بلادرنگ و پردازش آن‌ها است. این دوربین را می‌توان هم در پهپادهای بال‌ثابت و هم در سیستم‌های بال‌چرخان استفاده کرد. انتخاب استفاده از این نوع حسگر تجاری مزیتی دارد که از نظر هزینه نسبتاً مقرون‌به‌صرفه است؛ زیرا نیاز به تهیه قطعات الکترونیکی اختصاصی ندارد و می‌تواند در بسیاری از وسایل نقلیه هوایی تعبیه شود. [8]
* برای مکانیزم ناوبری سیستم پیشنهادی، از تکنیک ادغام حسگرهای کلاسیک که شامل ادغام GPS با سیستم‌های ناوبری اینرسی (INS) است، استفاده می‌شود. این دو نوع حسگر به‌شدت مکمل یکدیگر هستند: ماژول GPS اطلاعات موقعیت با سرعت به‌روزرسانی کند اما با خطای محدود فراهم می‌کند، در حالی که سیستم INS خطای انتگرالی نامحدود دارد اما نرخ به‌روزرسانی سریع‌تری دارد. با ترکیب این دو، می‌توان به تخمین موقعیت‌یابی با وفاداری بالا دست یافت. [6]

داده‌های نوری که از پهپاد ثبت می‌شوند، معمولاً تحت تأثیر ابر قرار می‌گیرند. برای کاربردهایی مانند نظارت کشاورزی که باید به‌صورت بلادرنگ انجام شود، این موضوع مشکل‌ساز است، زیرا داده‌های تحت تأثیر ابر ممکن است به دلیل تغییر در مقادیر بازتاب نادرست، منجر به اطلاعات گمراه‌کننده شود. بنابراین، نیاز است که داده‌های تحت تأثیر ابر قبل از انجام تحلیل‌های بیشتر ماسک‌گذاری شوند. داده‌های Landsat 8 با یک نوار ارزیابی کیفیت ارائه می‌شوند که شامل ۱۶ بیت علامت‌گذاری است. حالت بالا یعنی ‘۱’ در بیت‌های ۱۴ و ۱۵ نشان‌دهنده وجود ابر در پیکسل انتخاب‌شده است و ماسک از این اطلاعات ایجاد می‌شود. ماسک به‌دست‌آمده با ماسکی که با استفاده از تکنیک شناسایی ابر به دست آمده، تأیید می‌شود.

برای دسته‌بندی و تحلیل داده‌های آپلود شده در فضای ابری، از ماشین بردار پشتیبان (SVM) استفاده می‌شود که یک مدل یادگیری نظارت‌شده است و با الگوریتم یادگیری ماشین ادغام شده که عمدتاً بر مشکلات رگرسیون و طبقه‌بندی تمرکز دارد. هدف اصلی SVM آموزش مدلی است که بتواند اشیاء جدید را به یک دسته خاص اختصاص دهد. این مدل با مدل‌سازی وضعیتی شروع می‌شود که یک فضای ویژگی (فضای برداری با ابعاد محدود) ایجاد می‌کند که در آن هر بُعد نشان‌دهنده یک “ویژگی” از یک شیء خاص است. SVM بهترین راه‌حل بهینه را انتخاب می‌کند. SVM همچنین می‌تواند در کشاورزی دقیق با استفاده از پهپاد به کار رود. SVM می‌تواند بر روی مجموعه داده‌های عمومی از محصولات و گیاهان کار کند و نتایج آن را با دقت بیشتری پیش‌بینی کند. داده‌های تصویری و بویایی که از حسگرها جمع‌آوری می‌شود، به SVM وارد می‌شود تا وضعیت میوه یا محصول را به‌دقت پیش‌بینی کند. [12][13][14]

Future Work

در این مقاله، راه‌حل‌های متعددی بررسی و ترکیب شده‌اند تا یک راه‌حل جامع برای بهبود پهپادهای کشاورزی ارائه شود. برای کارهای آینده، یک روش پیشنهادی نصب پنل‌های خورشیدی بر روی خود پهپاد است. با نصب پنل‌های خورشیدی، نیاز به شارژ خارجی از بین می‌رود و پهپاد می‌تواند در طول روز، زمانی که در حال کار در مزرعه است، شارژ شود. یکی دیگر از کاربردهای آینده ممکن است استفاده از ماشین بردار پشتیبان (SVM) برای طبقه‌بندی محصولات و گیاهان بر اساس عملکرد باشد. SVM می‌تواند بر روی یک پایگاه داده از محصولات و ویژگی‌های فیزیولوژیکی آن‌ها و زمان برداشت کار کند. با استفاده از این روش، SVM می‌تواند زمان‌های مناسب برداشت محصولات کاشته‌شده را پیش‌بینی کند یا زمان رسیدن میوه‌ها را با دقت کافی پیش‌بینی نماید.

Conclusion

بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که پهپادها یا UAV‌ها با افزایش جمعیت، در زمینه کشاورزی بسیار مفید خواهند بود، زیرا آن‌ها در ابتدای چرخه محصول ضروری هستند. این فناوری نه‌تنها زمان را کاهش می‌دهد، بلکه بر اساس داده‌های تحلیل‌شده، باعث بهبود کشت خواهد شد. مدیریت محصولات به دلیل نظارت سیستماتیک کارآمدتر خواهد بود. با فناوری‌های پیشرفته آینده، نرخ تولید با مصرف انرژی کمتر به‌سرعت افزایش خواهد یافت. پهپادها تنها برای تحلیل خاک و مزارع به کار نمی‌روند، بلکه در کاشت بذرها و تزریق مواد مغذی گیاه به خاک نیز کاربرد دارند. موانع نظارت بر محصولات که قبلاً با آن مواجه بودیم، نیز با کمک پهپادها برطرف خواهد شد. کاربرد پهپادها به اینجا محدود نمی‌شود، بلکه با تعبیه حسگرهای فراطیفی، طیف حرارتی یا چندطیفی، پهپادها می‌توانند بخش‌های خشک زمین را شناسایی کنند و به این ترتیب، ارزیابی برنامه آبیاری ساده‌تر می‌شود. علاوه بر این، پهپادها برای ارزیابی سلامت محصول از طریق اسکن آن‌ها با استفاده از نور مادون‌قرمز نزدیک و نور مرئی نیز کاربرد دارند. به این ترتیب، پهپادها به عنوان یک پلتفرم هوایی ایده‌آل برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز در کشاورزی دقیق عمل می‌کنند.