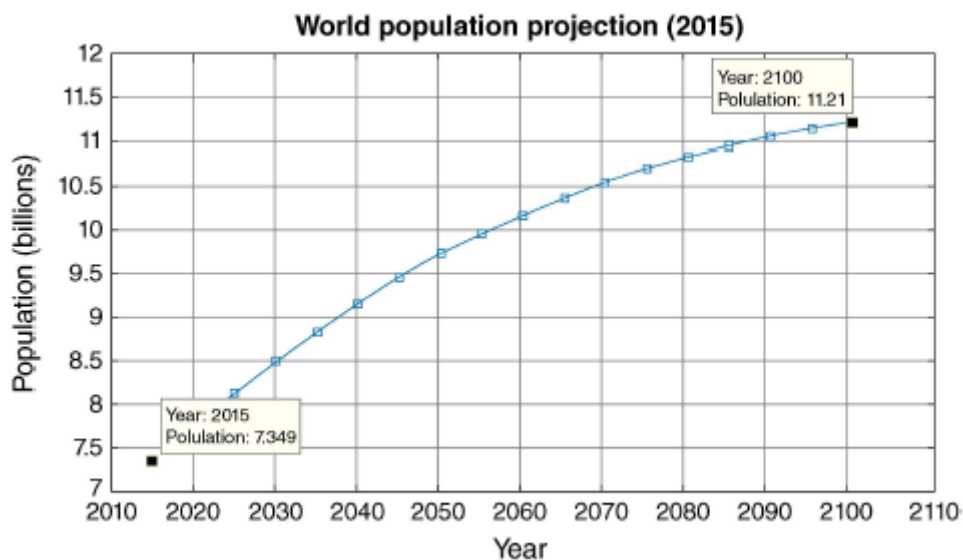
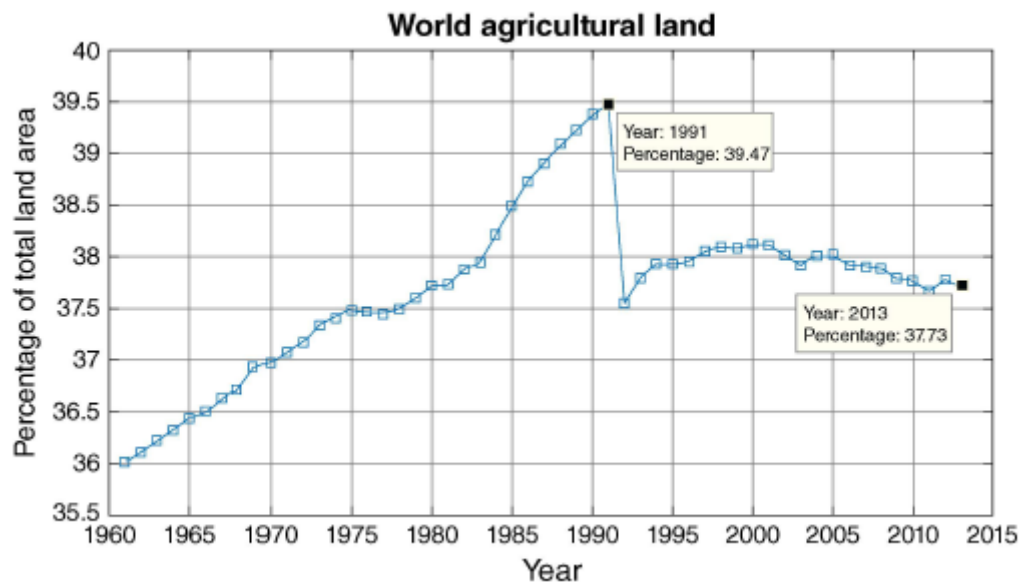


Aplikacje Internetu Rzeczy dla Rolnictwa

Historia rolnictwa zaczyna się co najmniej 22 000 lat temu, kiedy ludzkość nauczyła się zbierać dzikie zboża jako żywność. Według odkryć archeologicznych, różne rośliny uprawiano już w 9500 r. p.n.e. w Levant. Przez dziesiątki tysięcy lat od tego czasu od czasu do czasu wprowadzano znaczące innowacje, aby zwiększyć plony rolne i zmniejszyć wymaganą ciężką pracę ludzką. Jednak zapotrzebowanie na więcej produktów spożywczych ze strony rosnącej populacji nigdy nie zostanie zaspokojone. Przewiduje się, że do 2050 r. ludność świata osiągnie 9,7 miliarda, czyli o 33% więcej niż obecnie (un.org, 2015). W konsekwencji, aby nadążyć za takim wzrostem populacji, światowa produkcja żywności musi wzrosnąć o co najmniej 70%, aby wyżywić świat. Tymczasem tylko niewielka część powierzchni Ziemi jest dostępna do celów rolniczych ze względu na różne ograniczenia, w tym temperaturę, klimat, topografię, jakość gleby i technologie. Użytkowanie gruntów rolnych jest również kształtowane przez czynniki polityczne i ekonomiczne, takie jak własności gruntów, regulacje środowiskowe i gęstość zaludnienia (learner.org, 2016). W rzeczywistości całkowita powierzchnia gruntów rolnych wykorzystywana do produkcji żywności zmniejsza się od kilkadziesiąt lat. W 2013 r. całkowita powierzchnia gruntów rolnych wykorzystywana do produkcji żywności wynosiła około 18,6 mln mil kwadratowych, co stanowi 37,73% powierzchni ziemi na świecie. Dla porównania, w 1991 roku liczby te wynosiły 19,5 mln i 39,47%. Tak więc ludzkość stoi przed zniechęcającym wyzwaniem, jak wykarmić więcej ludzi przy mniejszej powierzchni ziemi, jak pokazano na rysunkach



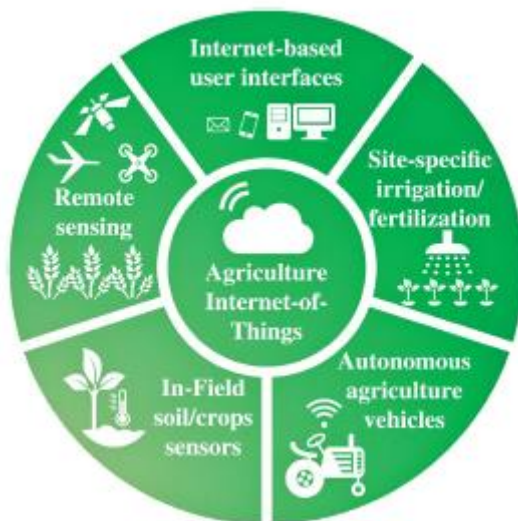


Odpowiedzią na kluczową kwestię jest nowa technologia „rolnictwa precyzyjnego” (PA), która będzie miała głęboki wpływ na życie miliardów ludzi. Techniki i technologie rolnictwa precyzyjnego mają na celu poprawę wydajności rolnictwa, aby zmaksymalizować produkcję żywności, zminimalizować wpływ na środowisko i obniżyć koszty. Zasadniczo PA lub rolnictwo specyficzne dla miejsca (SA) to zintegrowany system informacji i rolnictwa oparty na produkcji, który może gromadzić dokładne dane z każdego miejsca na polu i odpowiednio dostosowywać uprawę każdego miejsca niezależnie. W tradycyjny sposób operacje rolnicze, takie jak sadzenie lub zbieranie plonów, są wykonywane według ustalonego z góry harmonogramu. Jednak skuteczność praktyki i harmonogramu można znacznie poprawić dzięki mądrzejszym decyzjom opartym na danych w czasie rzeczywistym i analizach predykcyjnych dotyczących pogody, jakości gleby, dojrzałości upraw, sprzętu, kosztów pracy i dostępności. PA to system zarządzania rolnictwem oparty na obserwacji, pomiarze i reagowaniu na zmienność rolnictwa w różnych aspektach. W PA duże pola są zarządzane jako grupa małych pól, a każde małe będzie traktowane precyzyjnie i niezależnie, przy zmniejszonym niewłaściwym stosowaniu wody, nasion i składników odżywczych w celu zwiększenia plonów i wydajności gospodarstwa. Jako wyłaniający się paradygmat, IoT jest uważany za kolejną wielką rzecz, która może mieć znaczący wpływ na przyszłość świata. Dzięki zastosowaniu najnowszych technologii IoT w praktyce rolniczej tradycyjne sposoby uprawy mogą zostać fundamentalnie zmienione w każdym aspekcie, aby uutorować drogę do nowego modelu rolnictwa PA. Krótko mówiąc, wdrożenie PA opiera się na trzech etapach: (i) zbieranie danych w czasie rzeczywistym, (ii) analiza danych i podejmowanie decyzji oraz (iii) odpowiednie precyzyjne zabiegi. Wszystkie te trzy etapy można znacznie ułatwić dzięki postępowi technologii IoT w ostatnich latach. Przede wszystkim IoT zapewnia podstawową infrastrukturę sieciową, dzięki której ogromne inteligentne obiekty, od mikroczujników po ciężkie pojazdy rolnicze, mogą łatwo łączyć się ze sobą i z Internetem. Umożliwia to najprostsze rozwiązanie gromadzenia, gromadzenia, wymiany i przesyłania danych. Po drugie, oparty na Internecie, IoT zapewnia rewolucyjny sposób przetwarzania danych i inteligentnego podejmowania decyzji. Rozwiązania dla wszystkich rodzajów usług są dostępne online, oferowane przez dostawców na całym świecie, od gigantów branżowych po rozpoczynającą działalność firmę w odległych krajach. Większość z tych usług, od obrazowania satelitarne i przetwarzania po monitorowanie zdrowia i dobrostanu kurcząt, może być oparta na chmurze. W ten sposób mogą automatycznie przetwarzać dane i podejmować inteligentne decyzje w czasie rzeczywistym 24x7, bez konieczności interwencji człowieka. Ostatecznie decyzje i procedury dotyczące zabiegów w rolnictwie wygenerowane z chmury zostaną przeniesione z powrotem do gospodarstwa.

W środowisku IoT zautomatyzowane urządzenia rolnicze, maszyny i pojazdy będą działały odpowiednio, aby w optymalny sposób uprawiać rośliny i zwierzęta gospodarskie. Jednocześnie użytkownicy mogą korzystać z niespotykanie wygodnego sposobu dostępu do danych i informacji, wizualizacji i prezentacji za pośrednictwem Internetu. W konsekwencji bezproblemowa integracja technologii IoT z PA podnosi rolnictwo na nowy poziom, który był wcześniej niewyobrażalny, dzięki czemu cały przemysł rolniczy zostanie przekształcony z ogromnymi zyskami. Ogólnie rzecz biorąc, w zakresie PA, IoT może poprawić lub rozwiązać krytyczne problemy, takie jak reakcja na suszę, optymalizacja plonów, zarządzanie gruntami i zwalczanie szkodników. Ten rozdział przedstawia typowe aplikacje IoT w PA, w tym podstawowe koncepcje, powiązane technologie, organizację systemu oraz implementację z dostępnymi produktami.

Rolnictwo precyzyjne oparte na Internecie rzeczy

Powstające technologie IoT można zintegrować z PA w różnych aspektach, aby poprawić wydajność i produktywność rolnictwa. Jako przegląd, rysunek ilustruje typowe funkcje i cechy zapewniane przez tę integrację.



Technologie IoT można podzielić na trzy kategorie: zbieranie danych, analiza danych w chmurze i podejmowanie decyzji oraz operacje rolnicze wspomagane przez IoT.

Gromadzenie danych

Celem zbierania danych PA jest zbieranie parametrów gleby i danych o stanie upraw/plonów w każdym miejscu w celu kierowania późniejszymi operacjami, takimi jak sadzenie, nawożenie i nawadnianie. Zbieranie danych można osiągnąć głównie na dwa sposoby. Pierwsza to wielofunkcyjne wyimaginowane urządzenia wyposażone w platformy teledetekcyjne, w tym satelity, samoloty rolnicze, balony i bezzałogowe statki powietrzne (UAV). Drugi pochodzi z różnych czujników zainstalowanych w różnych miejscach na terenie gospodarstwa. Opracowano zróżnicowane czujniki do pomiaru wilgotności, temperatury, poziomu azotanów itd., aby spełnić wymagania różnych schematów PA. Wszystkie dane muszą być oznaczone dokładnymi informacjami o lokalizacji, które zwykle są generowane z urządzeń GPS, aby wspierać późniejsze leczenie specyficzne dla miejsca. W następnym kroku wszystkie dane zostaną wprowadzone do systemu informacji geograficznej (GIS) w celu wygenerowania mapy indeksu upraw lub gleby. GIS może przetwarzać dane w celu wizualizacji środowisk rolniczych i stanu zarządzania uprawami. W schemacie PA technologie GIS mogą być wykorzystywane do badania warunków w gospodarstwie, mierzenia i monitorowania efektów praktyk

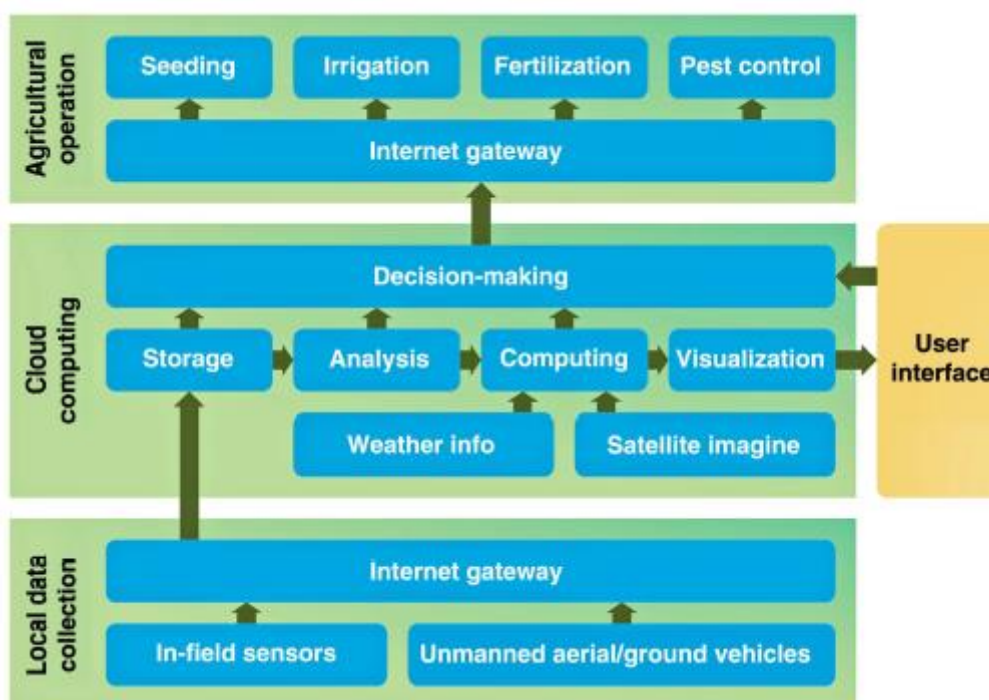
zarządzania gospodarstwem, w tym szacowania plonów, analiz zmian w glebie oraz identyfikacji/remediacji erozji. Co więcej, z pomocą GIS można osiągnąć redukcję kosztów produkcji rolnej, takich jak nawóz, paliwo, nasiona, robocizna i transport.

Operacje specyficzne dla miejsca

W przeciwieństwie do dawnego rolnika, większość prac rolniczych w nowoczesnym rolnictwie na dużą skalę przejęła sprzęt taki jak traktory i kombajny. Dokładniej, w scenariuszu PA pojazdy rolnicze będą wyposażone w systemy GPS i GIS i będą mogły działać precyzyjnie, w zależności od miejsca i autonomicznie, wykonując różne zadania, w tym siew, nawożenie i zbiór. Inną ważną koniecznością operacyjną w rolnictwie jest nawadnianie i zrozumienie opadów naturalnych (np. zaspokojone lub niezaspokojone zapotrzebowanie roślin na wodę). W PA nawadnianie jest precyzyjnie zarządzane, aby pokryć deficyt między optymalnym zapotrzebowaniem upraw na wodę a naturalnymi zasobami na każdym stanowisku niezależnie.

Aplikacja IoT w PA

Technologie IoT mogą odgrywać kluczową rolę we wdrażaniu PA. IoT zapewnia nie tylko infrastrukturę komunikacyjną do łączenia każdego inteligentnego obiektu, od czujnika, pojazdu, do urządzenia mobilnego użytkownika przez Internet, ale także funkcje obejmujące lokalne/zdalne pozyskiwanie danych, inteligentną analizę informacji i podejmowanie decyzji w chmurze, dostęp do danych, wizualizację, interfejs użytkownika i automatyzacja pracy w rolnictwie. Ogólnie rzecz biorąc, IoT ma dwie perspektywy: zorientowaną na Internet lub na urządzenia inteligentne. W scenariuszu PA systemy IoT zorientowane na Internet mają lepszą funkcjonalność, elastyczność i rozszerzalność. Systemy z tej kategorii mogą korzystać z różnych usług internetowych i będą miały większe możliwości obliczeniowe od strony chmury. Schemat koncepcyjny architektury takiego systemu IoT pokazano na rysunku.



Jak widać na rysunku, rolniczy model IoT ma trzy podstawowe warstwy. Na dole znajduje się warstwa akwizycji danych, w której dane dotyczące środowiska/upraw są gromadzone za pomocą czujników lub

urządzeń teledetekcyjnych, takich jak UAV, a następnie przesyłane do pamięci w chmurze za pośrednictwem bramy internetowej. Druga warstwa to warstwa funkcji przetwarzania w chmurze. Zróżnicowane funkcje i usługi przetwarzania w chmurze są zintegrowane i dostarczane w tej warstwie. Dla każdej wymaganej funkcji zawsze dostępnych jest wiele rozwiązań od różnych dostawców. W ogólnym procesie na początku surowe dane będą filtrowane i przetwarzane przez narzędzia do analizy danych w celu uzyskania abstrakcyjnych informacji. Następnie oczyszczone informacje zostaną przekształcone w niezbędną wiedzę za pomocą narzędzi do eksploracji danych i uczenia maszynowego. Biorąc pod uwagę określone czynniki, takie jak stan gleby, schemat nawożenia, stan upraw, pogoda i sytuacja środowiskowa itd., wiedza uzyskana w ostatnim kroku zostanie wykorzystana do podejmowania decyzji lub generowania map indeksowych dla różnych celów. Takie mapy pokierują działaniami rolniczymi w następnym etapie. W międzyczasie ta warstwa zapewnia również usługi wizualizacji i prezentacji danych dla dostępu użytkownika. Ostatecznie górna warstwa to kontrola wszystkich czynności rolniczych, w tym siewu, nawadniania, nawożenia i zbioru. Odpowiednie operacje realizowane są za pomocą urządzeń rolniczych, maszyn, pojazdów i systemu nawadniającego na podstawie decyzji lub map indeksowych wygenerowanych po stronie chmury w ostatnim etapie. Powiązane polecenia sterujące będą przesyłane przez bramę internetową do systemów rolniczych. Wspomagane przez GIS, te systemy rolnicze będą precyzyjnie traktować każdą działkę atomową, dzięki czemu można oczekiwać optymalnej wydajności i produktywności.

Zastosowanie IoT w nawadnianiu w rolnictwie

Oto kilka faktów na temat wody. Około 71% powierzchni Ziemi pokrywa woda, z czego około 96,5% całej ziemskiej wody to słona woda utrzymywana przez oceany (USGS, 2016). Tylko pozostałe 3% to woda słodka. Stąd ponad dwie trzecie to zamrożona woda, którą posiadają lodowce i polarne czapy lodowe. Co więcej, większość niezamrożonej wody słodkiej znajduje się pod ziemią, a tylko niewielka część (0,5%) pozostaje na powierzchni lub w powietrzu. Krótko mówiąc, ludzkość polega na tym 0,5% dla wszystkich potrzeb wody słodkiej człowieka i ekosystemu. Co więcej, około 70% całej dostępnej słodkiej wody jest zużywane przez rolnictwo. Dla porównania przemysł zużywa około 23%, a składowiska komunalne około 8%, które łącznie stanowią mniej niż połowę rolnictwa (UN-Water, 2016). Tradycyjne sposoby zużycia wody stoją przed poważnymi wyzwaniami, zarówno pod względem niedoboru, jak i wpływu na środowisko. Na przykład w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat w zachodnich stanach USA coraz bardziej brakuje wody. W ciągu najbliższych 10 lat 40 ponad 50 stanów będzie doświadczać niedoboru wody na różnych poziomach. A sytuacja pogorszy się wraz z rosnącymi wymaganiami miast i przemysłu. Tymczasem w rzekach i jeziorach należy przechowywać wystarczającą ilość świeżej wody, aby utrzymać ekosystemy. W związku z tym poprawa efektywności wykorzystania wody lub zwiększenie produktywności wody w rolnictwie jest kluczową odpowiedzią na rosnący niedobór wody. Ogólnie produktywność wody w rolnictwie jest definiowana jako stosunek korzyści netto uzyskanych ze wszystkich sektorów rolnictwa, w tym upraw, zwierząt gospodarskich, rybołówstwa, leśnictwa itd., do ilości wody zużytej podczas procesu, w którym te korzyści są wytwarzane. Kluczem do poprawy wydajności wody w rolnictwie jest uwzględnienie harmonogramu nawadniania zależnego od zapotrzebowania upraw, który może oszczędzać wodę bez wpływu na plony. Jednak w praktyce dokładne oszacowanie zapotrzebowania upraw na wodę jest dość trudne, co obejmuje wiele czynników, takich jak rodzaj uprawy, metoda nawadniania, rodzaj gleby, opady, potrzeby upraw i retencja wilgoci w glebie. W rzeczywistości, nawet w roku 2013, inspekcja wizualna upraw nadal odgrywała kluczową rolę jako metoda podejmowania decyzji dotyczących nawadniania w prawie 80% gospodarstw z nawadnianymi gruntami w Stanach Zjednoczonych. Oczekuje się, że obecna sytuacja zmieni się w następnej dekadzie wraz z przyjęciem pojawiających się technologii IoT. Dzięki przyjęciu nowych podejść opartych na IoT, takich jak zarządzanie nawadnianiem oparte na wskaźniku

stresu wodnego upraw (CWSI), tradycyjny schemat nawadniania upraw zostanie zrewolucjonizowany, aby znacząco poprawić wydajność wody w rolnictwie.

Wskaźnik stresu wodnego w uprawie

Optymalne nawadnianie opiera się na precyzyjnym pomiarze zapotrzebowania upraw na wodę. Od wczesnych lat siedemdziesiątych naukowcy próbowali monitorować zapotrzebowanie upraw na wodę, mierząc temperaturę powierzchni upraw. W ostatnich latach podejście to przyciągało coraz więcej uwagi, zwłaszcza w związku z rozwojem technologii teledetekcyjnych. Krótko mówiąc, zapotrzebowanie upraw na wodę w określonym miejscu można scharakteryzować jako CWSI. Wartość CWSI można wyprowadzić na różne sposoby. Jedną popularną metodą obliczania CWSI opiera się na następującym równaniu:

$$CWSI = \frac{dT - dT_1}{dT_u - dT_1}$$

W równaniu 18.1 dT jest różnicą między baldachimem upraw a pomiarami temperatury powietrza; dT_u to różnica między górną granicą czaszy a temperaturą powietrza (uprawa nietranspirująca); a dT_1 jest różnicą między dolną granicą czaszy a temperaturą powietrza (dobrze nawodniona uprawa). Wartość CWSI wynosząca 0 wskazuje, że uprawy nie mają stresu wodnego, a wartość CWSI wynosząca 1 oznacza, że uprawy doświadczają maksymalnego stresu wodnego. Podsumowując, stres uprawa-woda sygnalizuje potrzebę nawadniania upraw w danym miejscu. Co więcej, w zarządzaniu nawadnianiem w radzeniu sobie ze stresem wodnym upraw należy wziąć pod uwagę wiele innych czynników, takich jak reakcja plonów na stres wodny, prawdopodobna cena upraw i koszt wody (USDA, 2016). W zarządzaniu nawadnianiem opartym na CWSI pierwszym krokiem jest określenie zapotrzebowania upraw na wodę w każdym miejscu na całym terenie rolniczym, do czego mogą wnieść wiele nowoczesne technologie teledetekcji. Następnie w każdym miejscu wyloty nawadniające będą sterowane niezależnie w zależności od zapotrzebowania upraw na wodę; w ten sposób można osiągnąć optymalną wydajność nawadniania. Opracowano różne metody w celu wyznaczenia z góry limitów czaszy dT_1 i dT_u w równaniu. Praktycznie do obliczenia dT dla wyprowadzenia CWSI potrzebne jest okresowe zbieranie danych o koronach upraw i pomiarach temperatury powietrza.

Akwizycja danych

Wyprowadzając wartość dT , zwykle temperaturę powietrza można łatwo zmierzyć, na przykład za pomocą czujnika temperatury zainstalowanego metry nad ziemią. Trudność polega na tym, jak zmierzyć baldachim upraw w każdym miejscu na całym terenie rolniczym przy minimalnych kosztach, opóźnieniu i pracy wymaganej z akceptowalną precyzją. W tym celu opracowano różne rozwiązania oparte na różnych platformach, takich jak satelity, platformy powietrzne, stacja naziemna i pojazd bezzałogowy. Dane z termowizyjnego obrazowania w podczerwieni można pozyskiwać za pomocą teledetekcji satelitów, na przykład systemu MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) na satelitach Terra i Aqua wystrzelonych przez NASA. Istnieje wiele udanych przypadków zarządzania nawadnianiem CWSI z wykorzystaniem danych MODIS. Zadaszenia uprawne można również uzyskać poprzez zamontowanie kamery termowizyjnej na balonie lub w samolocie. Platformy satelitarne i inne platformy powietrzne oferują najwyższą wydajność pozyskiwania danych. Jednak żadna z nich nie jest dogodna dla indywidualnego rolnika. Innym sposobem zbierania wartości koron uprawnych jest wykorzystanie stacji naziemnych na polu. Na rynku dostępne są skomercjalizowane urządzenia do tego pomiaru temperatury. Na przykład produkty radiometryczne na podczerwień mogą uzyskiwać bardzo dokładny, bezdotykowy pomiar temperatury powierzchni. W połączeniu z innymi opcjami koszt instalacji jest kosztowny i liniowy w stosunku do powierzchni gruntów rolnych i może być

problematyczny dla operacji pojazdu rolniczego ze względu na rozproszone stacje naziemne. Zaletą tego podejścia jest natomiast to, że zbieranie danych odbywa się lokalnie, bezpośrednio i 24x7 w czasie rzeczywistym, co umożliwia ciągłe monitorowanie. Postęp technologiczny i redukcja kosztów pojazdów bezzałogowych (UV) w szczególności w ostatnich latach znacznie stymulowały ich zastosowania w wielu dziedzinach, w tym w rolnictwie. Wyposażone w kamerę termowizyjną małe bezzałogowe statki powietrzne mogą stanowić niedrogie rozwiązania do wygodnego pomiaru korony upraw. W porównaniu do wszystkich innych metod, rozwiązanie UAV jest tanie, przyjazne dla użytkownika, elastyczne i konfigurowalne, bez konieczności instalacji.

System nawadniania IoT

Schemat typowego systemu nawadniania IoT pokazano na rysunku 18.5. System wykorzystuje bezprzewodową sieć czujników (WSN), aby połączyć wszystkie czujniki polowe do pomiaru baldachimu i temperatury powietrza, a następnie przesyłać wszystkie dane do bramy sieciowej. Wśród wielu rozwiązań dostępnych w tym celu, ZigBee jest popularną technologią, która jest łatwa w konfiguracji i konfiguracji. Ze względu na niskie wymagania dotyczące przepustowości transmisji danych. W tej aplikacji brama może uzyskać bezprzewodowy dostęp do Internetu za pomocą technologii, takich jak sieć komunikacji mobilnej 4G LTE, przy stosunkowo niskich kosztach. Dane przesyłane przez sieć komórkową będą odbierane przez subskrybowane usługi internetowe w chmurze. Odpowiednie inteligentne aplikacje oprogramowania będą analizować dane z gruntów rolnych, z uwzględnieniem informacji z innych źródeł, takich jak serwis pogody i obrazowanie satelitarne, aby zastosować modele CWSI do oceny zapotrzebowania na wodę, a na koniec określić wartość wskaźnika nawadniania dla każdego miejsca. Wyniki te zostaną przesłane z powrotem do bramy sieciowej, a następnie przesłane do kontrolera w celu zarządzania nawadnianiem. Ponadto rolnicy mogą uzyskać dostęp do wszystkich danych i wyników oraz dokonywać korekt za pomocą terminali, takich jak smartfony, za pośrednictwem specjalnie opracowanych aplikacji internetowych.

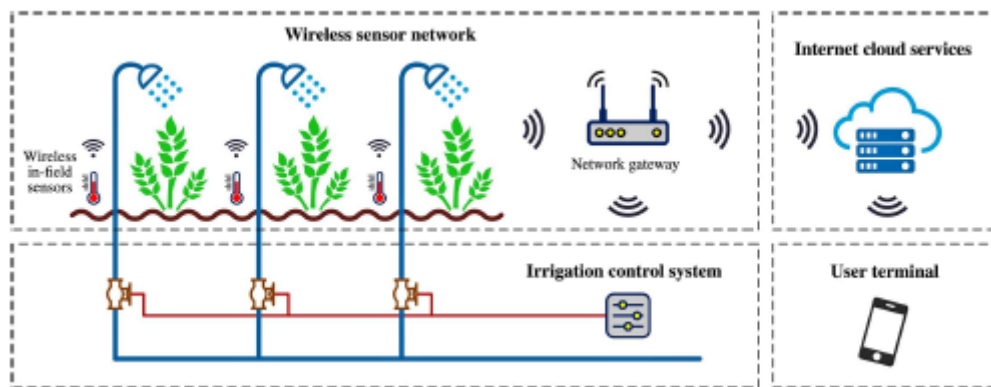
Zastosowanie IoT w nawożeniu w rolnictwie

Tysiące lat temu starożytni Egipcjanie, Rzymianie i Babilończycy nauczyli się używać nawozów, takich jak minerały i obornik, w celu zwiększenia produktywności gospodarstw. Ogólnie rzecz biorąc, nawóz odnosi się do naturalnych lub syntetycznych materiałów, które mogą dostarczyć niezbędnych składników odżywczych do wzrostu roślin. Trzy główne makroelementy wymagane przez rośliny to azot (N) do wzrostu liści; fosfor (P) do rozwoju korzeni, kwiatów, nasion i owoców; oraz potas (K) dla wzrostu todygi, ruchu wody oraz promocji kwitnienia i owocowania. Rośliny potrzebują składników odżywczych z nawozów, aby zachować zdrowe życie. Jednak niewłaściwe stosowanie składników odżywczych może być szkodliwe, a nawet doprowadzić do obumarcia roślin. Co ważniejsze, nadmiar nawozu jest szkodliwy dla środowiska, pogarszając jakość gleby, zatruwając wody gruntowe, a nawet przyczyniając się do zmian klimatycznych na całym świecie. Kluczem do zminimalizowania negatywnych skutków nawożenia rolniczego na środowisko polega na precyzyjnym aplikowaniu wymaganej dawki upraw, co nazywamy nawożeniem PA. Wdrożenie nawożenia PA wymaga pomiaru poziomu składników odżywczych w glebie w zależności od miejsca. Praktycznie jednak nawożenie PA jest znacznie bardziej skomplikowane niż precyzyjne schematy nawadniania wprowadzone w poprzednich rozdziałach, ponieważ określenie ilości nawozu potrzebnego na płyty gleby jest bardzo skomplikowanym problemem. Potrzebna ilość nawozu zależy od różnych czynników, w tym rodzaju uprawy, rodzaju gleby i zdolności do wchłaniania gleby, plonu produktu, rodzaju żyzności, stopnia wykorzystania nawozu, warunków pogodowych, klimatu i rolniczych czynników technologicznych. Pomiar poziomu składników odżywczych w glebie jest kosztowny, niewygodny i czasochłonny, zwykle obejmuje pobieranie i badanie próbek gleby w każdym miejscu. Postęp technologii w teledetekcji ogromnie wzmacnił możliwości gromadzenia danych. Dzięki temu wsparciu opracowano nowe podejścia IoT do

szacowania przestrzennych wzorców wymagań nawozowych z akceptowalną dokładnością i minimalnym wymaganym nakładem pracy. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to skuteczna metoda monitorowania stanu składników odżywczych upraw za pomocą zdjęć lotniczych/satelitarnych. W skrócie, wartość NDVI reprezentuje odbicie światła widzialnego i bliskiej podczerwieni od roślinności. NDVI może być stosowany do względnej oceny zdrowia upraw, wigoru wegetacji i gęstości, a także może przyczynić się do oceny poziomu składników odżywczych w glebie. NDVI można obliczyć z poszczególnych pomiarów według następującego równania:

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS}$$

W równaniu VIS i NIR reprezentują pomiar refleksyjności widmowej uzyskanej odpowiednio w obszarach widzialnych i bliskiej podczerwieni. Wartość NDVI mieści się w przedziale (-1;+1). Podstawowa procedura nawożenia PA jest podobna do przedstawionej na rycinie.



Pierwszym krokiem jest uzyskanie wartości NDVI poprzez wykorzystanie satelitarnych, platform powietrznych lub stacji naziemnych IoT w celu wygenerowania mapy indeksu nawożenia specyficznego dla miejsca. Następnie aplikacja nawozów realizowana jest przez zautomatyzowane maszyny i pojazdy rolnicze według mapy indeksowej. Krótko mówiąc, tak precyzyjne nawożenie może znacznie poprawić skuteczność aplikacji nawozów i zmniejszyć skutki uboczne dla środowiska, co zostało udowodnione w wielu odnotowanych udanych przypadkach. Istnieje sporo nowych technologii wspomagających, które przyczyniają się do nawożenia PA opartego na IoT.

* Wysokiej dokładności globalny system pozycjonowania (GPS). Obecnie istnieją cztery różne systemy globalnego pozycjonowania satelitarnego: GPS (USA), GLONASS (rosyjski), Galileo (UE) i BeiDou (Chiny). Do tej pory dokładność sygnału GPS wynosi 4 m, średnia kwadratowa (rms) (7,8 m przy 95% poziomie ufności). Jest to dalekie od spełnienia wymagań nawożenia PA. Wysokoprecyzyjny GPS to kluczowa technologia potrzebna pojazdom rolniczym do określania swojej pozycji w terenie na podstawie współrzędnych geograficznych (szerokość i długość geograficzna). Kinematyka czasu rzeczywistego (RTK) to nowa technika opracowana w ostatnich latach, która może znacznie poprawić precyzję GPS. Jego pomiary opierają się nie tylko na zawartości sygnału, ale także na fazie fali nośnej sygnału. Ponadto technologia RTK wykorzystuje sygnał ze stacji referencyjnej lub interpolowanej stacji wirtualnej do korekcji współrzędnych w czasie rzeczywistym, aby osiągnąć dokładność centymetrową (Keller i in., 2001). Obecnie dostępne są różne produkty GPS RTK, których ceny wahają się od kilkuset do kilkudziesięciu tysięcy dolarów.

* Autonomiczny system jazdy. Systemy autonomicznej jazdy pojazdów rolniczych są znacznie prostsze niż te na drodze, ponieważ ich przestrzeń robocza jest jasna i znana. Autonomicznie jeżdżące pojazdy

rolnicze mogą projektować ścieżkę, autosterowanie, skręcać i podążać za krawędziami i rzędami, aby pokryć całe pole podczas aplikacji nawozów i innych spraw.

* Mapowanie geograficzne. Narzędzia do mapowania geograficznego są wymagane do tworzenia map indeksowych specyficznych dla miejsca dla danych wejściowych/wyjściowych, w tym typu gleby, poziomów składników odżywczych, nawadniania i nawożenia (zrozumienie warstw do analizy danych PA i wskazówek operacyjnych pojazdów rolniczych).

* Infrastruktura komunikacyjna IoT. Mechanizm komunikacji oparty na IoT jest potrzebny do połączenia każdego obiektu i dowódcy w chmurze w celu działania w czasie rzeczywistym.

* Technologia zmiennej szybkości (VRT). Oznacza technologię, która umożliwia nakładanie materiałów ze zmienną szybkością, co jest wymagane w przypadku większości operacji sprzętu PA. Po prostu, VRT to system sterowania o zmiennej prędkości (VR) w sprzęcie aplikacyjnym, który może precyzyjnie kontrolować prędkość i/lub lokalizację różnych kwestii, aby osiągnąć zastosowanie specyficzne dla miejsca. W ten sposób, na przykład, nasiona lub nawóz mogą być stosowane zgodnie z mapą indeksu, aby zaspokoić dokładne różnice we wzroście upraw lub potrzeby odżywcze gleby

Ponadto większość substancji rozpuszczalnych w wodzie, w tym nawozy, dodatki do gleby i pestycydy, można zastosować poprzez wstrzyknięcie do systemu nawadniającego. Technologia ta określana jest jako fertygacja (chemigacja), która jest szeroko stosowana od kilku lat (Threadgill, 1991). Fertygacja jest uznawana za najlepszą praktykę zarządzania w celu poprawy efektywności różnych kwestii rolniczych (Wright i in., 2002). Oczywiście system fertygacji można bezproblemowo zintegrować z infrastrukturą PA opartą na IoT, tak jak została wprowadzona.

Zastosowanie Internetu Rzeczy w chorobach upraw i zwalczaniu szkodników

Choroby roślin i szkodniki spowodowały poważne straty dla ludzi od narodzin rolnictwa. W historii choroba upraw znana jako „zaraza ziemniaczana” doprowadziła do znacznego zmniejszenia plonów ziemniaków w Irlandii około 1850 roku i doprowadziła do głodu znanego jako „Wielki Głód”, w którym zmarło około miliona Irlandczyków (O „Neill, 2010). Nawet obecnie, co roku plantatorzy kukurydzy w Stanach Zjednoczonych wciąż doświadczają strat ekonomicznych sięgających miliarda dolarów z powodu choroby upraw „południowej zarazy liści kukurydzy”. Z grubsza, bezpośrednie straty plonów spowodowane przez szkodniki zwierzęce i patogeny są odpowiedzialne za straty w zakresie od 16 do 18% globalnej produktywności rolnictwa. Szybki rozwój IoT zapewnia solidne podstawy do opracowania skutecznych metod radzenia sobie z chorobami upraw i szkodnikami (Iotworm.com, 2016). W porównaniu z tradycyjnym zwalczaniem chorób/szkodników, które opiera się na kalendarzu lub receptach, nowoczesne zarządzanie chorobami/szkodnikami oparte na IoT pozwala na prognozowanie, modelowanie lub monitorowanie chorób w czasie rzeczywistym, a tym samym na bardziej proaktywne działanie. Wiarygodność systemu zarządzania chorobami upraw i szkodnikami zależy od trzech aspektów: wykrywania, oceny i leczenia (wspieranego przez technologie IoT). W systemie zarządzania chorobami/szkodnikami Internetu Rzeczy pierwszym etapem jest zbieranie danych dotyczących fizjopatologii upraw w czasie rzeczywistym. Głównym podejściem do rozpoznawania chorób/szkodników jest przetwarzanie obrazu, w którym surowy obraz można uzyskać za pomocą czujników terenowych lub urządzeń teledetekcyjnych na satelicie/samolocie. Ogólnie rzecz biorąc, obrazy z teledetekcji mają wyższą wydajność i niższe koszty, ale także wyższy próg. Tymczasem czujniki polowe mogą oferować więcej funkcji w zakresie gromadzenia danych, informacji, a nawet próbek środowiska, zdrowia roślin i sytuacji szkodników w dowolnym momencie i na każdym rogu. Na przykład automatyczne pułapki IoT mogą przechwytywać, liczyć i charakteryzować owady oraz przesyłać dane do chmury w celu późniejszej analizy, co wykracza poza możliwości teledetekcji. W drugim etapie wszystkie dane zebrane zdalnie lub lokalnie zostaną przekazane do centrum zarządzania

znajdującego się w chmurze IoT. Centrum zarządzania to połączenie wyrafinowanych modeli i algorytmów do przetwarzania i analizy nieprzetworzonego obrazu i danych w celu zapewnienia szeregu powiązanych funkcji, takich jak identyfikacja chorób/szkodników, przewidywanie zachowań szkodników i system ekspercki. Opracowano modele i algorytmy do radzenia sobie z różnymi chorobami/szkodnikami różnych upraw. Cały system stale monitoruje pole przez całą dobę, 7 dni w tygodniu, aby automatycznie dostarczać wczesne ostrzeżenia, raport o problemach z chorobami/szkodnikami, a nawet odpowiednią sugestią interwencji co godzinę. Informacje te mogą być przekazywane rolnikowi przez centrum zarządzania bezprzewodowo na różne sposoby, takie jak wiadomości tekstowe lub e-maile, aby zapewnić, że zostanie on powiadomiony w pierwszej chwili. Ostatnim etapem zarządzania chorobami roślin/szkodnikami jest precyzyjne zastosowanie odpowiednich wymaganych kwestii. W leczeniu chorób i aplikacji pestycydów można zastosować podobne podejścia w nawożeniu PA, takie jak precyzyjne opryskiwanie pojazdem autonomicznym lub automatyczna chemigacja VRT. Co więcej, postęp technologii robotycznej dostarcza innego rozwiązania. Wyposażony w wielospektralne czujniki i precyzyjny efektor oprysku, robot rolniczy jest w stanie zlokalizować i poradzić sobie z problemami z uprawami pod wpływem zdalnego systemu zarządzania chorobami/szkodnikami IoT.

Zastosowanie IoT w precyzyjnej hodowli zwierząt

Nowy model produkcji określany jako precyzyjna hodowla zwierząt (PLF) jest praktykowany w hodowli zwierząt od lat, aby zrewolucjonizować tradycyjny, pracochłonny proces produkcji zwierzęcej. Opierając się na gromadzeniu danych i analizach w czasie rzeczywistym, PLF oferuje w pełni automatyczne monitorowanie zdrowia i dobrostanu zwierząt oraz poprawę wydajności produktów przy mniejszym wpływie na środowisko. Wszystkie funkcje wymagane przez PLF mogą znaleźć idealne dopasowanie w powstającym paradygmacie IoT, który oferuje różne funkcje, w tym wykrywanie zwierząt i środowiska, analizę danych w chmurze i podejmowanie decyzji oraz automatyzację sprzętu. Wbudowanie IoT w PLF umożliwia optymalne żywienie zwierząt i wykorzystanie składników odżywczych, dzięki czemu można osiągnąć wyższą wydajność produkcji, ochronę środowiska i produkty wysokiej jakości. Powiązane innowacyjne aplikacje, takie jak inteligentna farma kurczaków, inteligentna farma krów i akwakultura IoT, zostały opracowane na całym świecie.

Inteligentna farma kurczaków

Kurczaki są udomowione zarówno dla jaj, jak i mięsa od tysięcy lat. W XXI wieku przemysł drobiarski jest zaangażowany w wysoce zaawansowaną technologię (np. wyrafinowane operacje chowu). W rzeczywistości nowoczesne obiekty drobiarskie to reaktory biologiczne, w których wiele materiałów wejściowych, w tym materiałów paszowych, wody, powietrza wentylacyjnego, ciepła i oświetlenia, zostanie przetworzonych na mięso lub jaja. Ogólnie rzecz biorąc, sukces nowoczesnego systemu produkcji drobiu zależy od znajomości wymagań żywieniowych, możliwości dostosowania się do tych wymagań poprzez dostrajanie danych wejściowych w czasie rzeczywistym oraz stabilnego komfortu warunków środowiskowych, takich jak powietrze, temperatura, wilgotność i oświetlenie. Wykorzystując zalety wszechstronnych możliwości oferowanych przez technologie IoT, inteligentne fermy drobiu mogą skutecznie i wydajnie zarządzać tymi kluczowymi czynnikami. W codziennej eksploatacji fermy drobiu pierwsze czujniki IoT zbierają dane żywych kurczaków za pomocą nowoczesnych metod, takich jak obrazowanie wielospektralne, wykorzystując wewnętrzne informacje o środowisku, które obejmują powietrze, temperaturę, wilgotność i światło. Następnie centralny system kontroli w chmurze przetwarza zebrane dane w celu monitorowania i oceny stanu kurczaków w czasie rzeczywistym, takich jak poziom cierpienia, komfort termiczny, żywa waga, zachowanie, ocena ptasiej grypy i tak dalej. Następnie inteligentne algorytmy są wykorzystywane w optymalnym podejmowaniu decyzji, aby odpowiednio obsługiwać zautomatyzowane urządzenia w gospodarstwie,

w tym zmechanizowane systemy karmienia, wewnętrzne sterowniki środowiska, mechaniczną obsługę i utylizację odpadów drobiowych, automatyzację systemów oświetleniowych, mycie i dezynfekcję skrzynek oraz mechaniczne systemy zbioru jaj i kontroli jakości. W porównaniu z tradycyjnym działaniem, inteligentne farmy oparte na IoT charakteryzują się znacznie niższymi kosztami oraz wyższą niezawodnością i możliwością rozbudowy w zakresie wykrywania, lepszą elastycznością, możliwością aktualizacji i inteligencją w analizie danych i podejmowaniu decyzji, wyższymi możliwościami w zakresie automatyzacji obsługi maszyn oraz bezprecedensową wygodą dla użytkownika w dostępie do danych na żywo/historii i zdalnym sterowaniu systemem. Ogólnie rzecz biorąc, te zalety doprowadzą do poprawy zdrowia i dobrostanu kurcząt, zapewnienia jakości produktu oraz zmniejszenia zaangażowania siły roboczej, kosztów operacyjnych i ryzyka bieżącego. Obecnie skomercjalizowane rozwiązania IoT zostały dobrze opracowane dla rolników do budowy inteligentnych ferm drobiu.

Inteligentna hodowla krów

Innym zastosowaniem technologii IoT w hodowli zwierząt gospodarskich jest hodowla krów. Dzięki czujnikom IoT przymocowanym do krów, rolnicy mogą łatwo lokalizować krowy na polu za pomocą aplikacji na smartfony lub tablety, a także sprawdzać ważniejsze kwestie związane z dobrostanem zwierząt, takie jak poziomy przeżuwania i kulawizny. Coraz więcej rolników stosuje technologie IoT, aby przekształcić swoje zwierzęta w tak zwany Internet Krów, Connected Cows lub Smart Cows. Ogólnie rzecz biorąc, paradygmat Internetu Rzeczy może pomóc hodowli lub ranczo w celu poprawy wydajności zużycia wody, energii, żywności i innych zasobów, przy jednoczesnym utrzymaniu dobrostanu zwierząt. Pomaga także rolnikom sporządzać listy, przygotowywać raporty, sortować krowy według kategorii i śledzić całkowity czas życia każdego zwierzęcia. Trudne problemy, które trapią rolników od wieków, teraz znalazły swoje rozwiązania w zakresie Internetu Rzeczy; na przykład identyfikacja rui krów, która ma kluczowe znaczenie dla wydajności mleka. Zwykle rolnik musi spędzać w stajni 20–30 minut za każdym razem, cztery do pięciu razy dziennie, aby sprawdzić, czy krowa jest w rui, co jest oznaką rui. Jednak ponad 60% przypadków rui ma miejsce w nocy, kiedy rolnik śpi. Innym przykładem jest kulawizna bydła, która ma duży wpływ na wydajność krów pod względem wydajności, płodności i długowieczności. Wraz z rozwojem technologii IoT tego rodzaju problemy znajdują obecnie swoje rozwiązania. Zminiaturyzowane znaczniki czujników IoT można przymocować do ucha, szyi lub nogi krowy, aby monitorować aktywność i samopoczucie każdej z nich, 24 godziny na dobę. Następnie zostaną zastosowane zaawansowane modele analityczne/empiryczne do analizy danych w celu określenia, czy krowa weszła w stan rui. Jak wynika z bezpośrednich wyników, wykrywalność rozwiązania IoT może sięgać nawet 95%, podczas gdy wykrywalność metody tradycyjnej wynosi około 55%. Ponadto, dążąc do dynamicznego wykrywania kulawizny, rozwijane są również w pełni zintegrowane platformy monitorowania zdrowia IoT z dostępnymi na rynku produktami. W większości przypadków w inteligentnej farmie krów zróżnicowane dane będą zbierane zarówno z czujników zwierzęcych, jak i innych czujników w pomieszczeniach. Inteligentny system zarządzania w chmurze będzie przetwarzać dane w celu monitorowania stanu zwierząt, kontrolować wszystkie zautomatyzowane urządzenia i urządzenia oraz dostarczać profesjonalne sugestie dotyczące podejmowania decyzji przez użytkowników. Wraz z postępującą miniaturyzacją, obniżaniem kosztów i zwiększaniem możliwości pomiarowych zróżnicowanych czujników, opracowywane będą coraz lepsze rozwiązania IoT, które przyniosą dalsze korzyści hodowcom krów.

Akwakultura IoT

Technologia IoT zmienia również akwakulturę, oferując nowe funkcje i integrując je z inteligentnym autonomicznym systemem. Rozproszona na dużą skalę bezprzewodowa sieć czujników składająca się ze zróżnicowanych czujników jest przystosowana do zbierania wszelkiego rodzaju danych, w tym zachowania ryb, jakości wody i stanu sprzętu. Na wyższym poziomie w systemie IoT, modele

optymalizacji i inteligentne algorytmy są wdrażane w celu radzenia sobie z różnymi zadaniami, w tym następującymi:

- * Monitorowanie i konserwacja jakości wody w akwakulturze
- * Monitorowanie stanu ryb i precyzyjne karmienie
- * Analiza zachowania ryb, wczesne ostrzeżenie oraz diagnozowanie, kontrola i zapobieganie chorobom
- * Zarządzanie obiektem i diagnostyka usterek
- * Automatyczne działanie sprzętu
- * Zarządzanie informacjami, przechowywanie, wizualizacja i dostęp użytkownika
- * Identyfikowalność logistyki i jakości produktów rybnych

IoT może również pomóc w lepszym zrozumieniu, w jaki sposób rybołówstwo przemysłowe wpływa na ważne gatunki w błękitnej wodzie. Zaawansowane znaczniki czujników wodnych zostały opracowane przez zastosowanie najnowszych technologii IoT w znacznikach RFID i wyskakujących znacznikach archiwalnych satelitów (PSAT). Te znaczniki czujników mogą być używane do zbierania danych dotyczących głębokości, temperatury i prędkości ruchu. Przywieszka czujnika zostanie przymocowana do zwierzęcia wodnego i będzie trzymana przez kilka dni, tygodni lub miesięcy, a następnie zostanie automatycznie zwolniona pod koniec okresu pomiarowego. Następnie unosi się (wyskakuje) na powierzchnię wody i przesyła zapisane dane naukowcom za pośrednictwem łącza satelitarnego. Zgromadzone dane mogą ujawnić wiele faktów, w tym, w jaki sposób działalność połowowa zmieni życie zwierząt morskich. PSAT został wdrożony w różnych morskich projektach badawczych na całym świecie. Przede wszystkim technologie IoT przenikają wiele aspektów hodowli zwierząt. Udane aplikacje poinformowały, że rozciąga się od Internetu świń (farmingfuture.org, 2016), Internetu kóz (Huawei, 2016) po Smart Oyster Farm.

Wniosek

Rolnictwo jest podstawą społeczeństwa ludzkiego. Co więcej, jak powiedział Masanobu Fukuoka: „Ostatecznym celem rolnictwa jest nie tylko uprawa roślin, ale także uprawa i doskonałość istot ludzkich”. Na szczęście postęp technologii, zwłaszcza połączenie Internetu rzeczy i rolnictwa precyzyjnego, toruje drogę do osiągnięcia celu. Human jest teraz u progu drugiej zielonej rewolucji, która w dużej mierze opiera się na IoT i powiązanych technologiach. PA oparte na IoT może sprawić, że farma przyszłości będzie bardziej wydajna i wydajna, przy mniejszym nakładzie pracy. Opiera się na wykorzystaniu danych do tworzenia bardziej wydajnych i efektywnych praktyk rolniczych oraz generowania związanych z nimi korzyści środowiskowych i społecznych. Przedstawiono wiele powiązanych technologii opracowanych w tym celu, na przykład podejścia CWSI, NDVI, RTK i zaawansowane czujniki. Te technologie i związane z nimi zastosowania umożliwiają rolnikom dokładniejsze traktowanie upraw i zwierząt. Przyszłe implikacje danych gromadzonych za pomocą tych technologii umożliwiają również rolnikom podejmowanie bardziej strategicznych i skutecznych decyzji w celu zwiększenia wydajności przy mniejszym wpływie na środowisko. Podsumowując, technologie IoT zajmą centralne miejsce na farmie przyszłości. Przewiduje się, że do 2020 r. do celów rolniczych będzie używanych 75 mln urządzeń IoT, a rynek inteligentnego rolnictwa ma osiągnąć 18,45 mld USD w 2022 r.