



Zastosowania technologii RFID i NFC w medycynie

1 Wstęp

Na przestrzeni kilku ostatnich dekad technologia NFC (*Near Field Communication*) oraz RFID (*Radio Frequency Identification*) rozprzestrzeniły się na wiele różnych dziedzin, zmieniając dotychczasowe metody zbierania danych, ich przechowywania i późniejszego wykorzystywania. Pierwotnie wykorzystywane do zarządzania inwentarzem oraz transportem, obecnie stosowane są w wielu innych sektorach gospodarki.

Technologia RFID jest obecnie stosowana głównie do oznaczania towaru i ich skanowania przez czytniki na duże odległości (nawet do 500 metrów), co niestety odbywa się kosztem mniejszego bezpieczeństwa danych. Główną zaletą RFID jest możliwość masowego skanowania - pozwala to na zaoszczędzenie czasu potrzebnego na skanowanie pojedynczych produktów. Innym popularnym zastosowaniem jest śledzenie lokalizacji obiektów w czasie.

Technologia NFC uznawana przez niektórych za podzbiór technologii RFID ma zdecydowanie bardziej ograniczony zasięg (mniej niż 20 centymetrów), ale za to może przechowywać więcej danych. Dzięki temu zapewnia większe bezpieczeństwo danych i z tego powodu jest powszechnie stosowanym standardem w płatnościach zbliżeniowych. Ponieważ wszystkie obecnie produkowane telefony mają wbudowany czytnik NFC, bardzo często łączy się potencjalne rozwiązania stosujące tę technologię z aplikacjami mobilnymi.

Standardy RFID i NFC zyskują coraz większą popularność w dziedzinie medycyny, która boryka się z wieloma problemami. Przede wszystkim dąży się do zniwelowania błędu ludzkiego prowadzącego do podania niepoprawnego leku, co przyczynia się do ogromnej liczby zgonów. Z powodu błędów ludzkich rocznie średnio od 44.000 do 98.000 osób umiera rocznie w USA [1]. Dla porównania, łączna liczba zgonów jest szacowana na 700.000 rocznie [3]. Drugim z poważnych problemów w medycynie to liczne kradzieże leków lub ich podmiana na wadliwe sztuki.

Poniższe sprawozdanie ma na celu ukazanie obszarów zastosowań technologii RFID oraz NFC w medycynie wraz z przedstawieniem kilku wybranych przykładów już istniejących rozwiązań, które osiągnęły komercyjny sukces i ilustrują jak duże jest znaczenie technologii zbliżeniowych w opiece zdrowotnej. W dalszych rozdziałach zawarto również dyskusję na temat przyszłości technologii RFID i NFC. Zebrane informacje mają na celu zilustrowanie ich pozytywnych aspektów oraz potencjalnych zagrożeń, które stanowią przeszkodę przed pełną implementacją w dziedzinie medycyny.

2 Przykłady zastosowań technologii RFID i NFC

Główne cele wykorzystania technologii RFID w medycynie to: masowe skanowanie, weryfikacja autentyczności leków, śledzenie lokalizacji obiektów oraz kontrola stanu inwentarza. Urządzenia RFID mogą mieć bardzo zróżnicowaną strukturę, lecz najczęściej przyjmują one postać tagów, które można odczytać za pomocą specjalnego skanera, który może przyjąć postać skanera ręcznego lub skanera przenośnego. Dzięki wykorzystaniu tej technologii niweluje się potrzebę wykorzystania czynnika ludzkiego do ręcznego skanowania każdego obiektu z osobna.



(a) Ręczny skaner RFID [22]



(b) Przenośny skaner RFID [23]

Tagi RFID można podzielić na trzy rodzaje:

- **aktywne** - zasilane przez baterie i mogące zawierać zarówno nadajnik jak i odbiornik. Charakteryzują się dużym rozmiarem dostępnej pamięci, wysoką ceną, dużym rozmiarem oraz dalekim zasięgiem (maksymalnie do 200 metrów);
- **pasywne** - aktywowane przez pole magnetyczne generowane przez czytnik RFID. Charakteryzują się mniejszym rozmiarem, niższą ceną i niemalże nieograniczonym czasem pracy (pod warunkiem wykorzystywania tagu zgodnie z jego przeznaczeniem);
- **półpasywne/półaktywne** - zasilane przez baterie lecz aktywowane tylko podczas kontaktu z polem magnetycznym czytnika, dzięki czemu ogranicza się zużycie baterii i wydłuża czas funkcjonowania tagu RFID.

Dzięki możliwości masowego skanowania ogranicza się problem kończących się kodów. Choć liczby dostępne na kodach kreskowych są ogromne, część firm farmaceutycznych dochodzi już do limitu numeracji. Rozwiązanie tego problemu poprzez standardowe techniki takie jak wyzerowanie liczby jest bardziej problematyczne niż zwykle zastąpienie kodów kreskowych oznaczeniami RFID. Dzięki temu można je jednym ruchem czujnika zeskanować i w ten sposób zaoszczędzić na pracownikach którzy musieliby weryfikować każdy zamówiony produkt osobno.

Choć istnieje ryzyko sklonowania znacznika, technologia RFID jest stosowana w poświadczeniu autentyczności leku. Ponieważ tag RFID jest trudniejszy do podrobienia niż zwykły kod kreskowy, jest to bardziej bezpieczna alternatywa do tradycyjnych rozwiązań. Niektóre firmy zabezpieczają tagi RFID przed podrabianiem poprzez detekcję zmiany - choć faktyczna skuteczność tych rozwiązań nie jest znana.

Możliwość detekcji znaczników RFID z dystansu może posłużyć do utworzenia systemu śledzenia ich lokalizacji. Jest to szczególnie ważne w przypadku drogich bądź niebezpiecznych leków, sprzętu medycznego, obiektów takich jak odzież szpitalna, czy też nawet pacjentów oznaczanych bransoletkami z tagiem. W ten sposób skutecznie ogranicza się ryzyko kradzieży i ryzyko zagrożenia życia pacjenta. Rozwiązanie to można również zastosować wobec gości odwiedzających pacjentów w celu zapobiegania nieuprawnionemu wtargnięciu do chronionych obszarów placówek medycznych.

Dalekodystansowy skan umożliwia również kontrolę stanu inwentarza. Zewnętrzne systemy mogą wykorzystać te dane do informowania o kończącym się produkcie ratującym życie pacjentów czy o zbliżaniu się do daty przeterminowania, co pomaga zapobiegać takiej sytuacji jak nieużywane narzędzia operacyjne, które trzeba zutylizować mimo iż nie zostały ani razu wykorzystane (głównie z powodu przeterminowania). W ten sposób można również kontrolować stan odpadów do zutylizowania i chronić się przed karą za nieodpowiednie składowanie odpadów.

Większy rozmiar pamięci urządzeń korzystających z technologii NFC oraz jej dwukierunkowy charakter komunikacji pozwala na bardziej złożone zastosowania. Poświadczenie o autentyczności leków można wzbogacić o kryptografię, w której implementuje się detekcję modyfikacji tagu lub jego przeniesienie na inny obiekt. Jest to szczególnie ważne w dziedzinie medycyny, gdzie według oszacowań Światowej Organizacji Zdrowia (*World Health Organization*) liczba sfalszowanych leków w obrocie wynosi ponad 10% [6]. Integracja NFC z telefonami komórkowymi umożliwia weryfikowanie leku nie tylko przez lekarzy, ale również przez zwykłych pacjentów. Nie trzeba wówczas inwestować w dodatkowe czytniki.

Technologia ta umożliwia również realizację bardziej złożonych metod walki z kradzieżą. Dotyczy to szczególnie dokumentów medycznych. Obustronna komunikacja może umożliwić reakcję na kradzież dokumentów w postaci alarmu. Istnieje

również możliwość całkowitego zastąpienia krótszych pism poprzez kryptograficznie zaszyfrowany znacznik NFC.

Główną zaletą zarówno NFC jak i RFID jest oszczędność miejsca. Zamiast inwestować w narzędzia do badania i kontroli funkcji życiowych pacjenta, które są często niewygodne - można wykorzystać technologię NFC do komunikacji z urządzeniami zewnętrznymi. W tym celu łączy się urządzenia Internetu Przedmiotów z tymi technologiami tworząc IoMT (*Internet of Medical Things*). Może to przyjąć postać bransoletek noszonych przez pacjentów, które są w stanie badać ich funkcje życiowe. Mniejszy rozmiar umożliwia zastąpienie metalowych bransoletek noszonych przez osoby chorujące na przewlekłe choroby takie jak cukrzyca czy nadciśnienie gumowymi bransoletkami, które są znacznie przyjemniejsze w noszeniu.



(a) Metalowa bransoletka [24]



(b) Gumowa bransoletka z NFC [25]

Różne rozwiązania korzystające z RFID i NFC łączy się ze sobą, więc nic nie stoi na przeszkodzie żeby zaimplementować system automatycznie reagujący na próbę podania nieprawidłowego leku pacjentowi. W tym celu można połączyć bransoletkę z tagiem NFC przypisaną do pacjenta oraz znacznik RFID na leku. Choć jest to mało popularne rozwiązanie, potrafi ono zapobiegać nieprawidłowemu przebiegowi leczenia. Ogromną zaletą NFC w stosunku do RFID jest możliwość ładowania w sposób bezprzewodowy oraz możliwość instalowania aktualizacji na urządzeniach w sposób automatyczny [8].

Znaczniki NFC mają duże zastosowanie w analizie danych, gdzie dane uzyskane za ich pomocą mogą być wykorzystane do rozwoju i optymalizacji istniejących rozwiązań. Pozostałe zastosowania technologii RFID oraz NFC to:

- śledzenie zużycia leków w celu określenia stanu magazynu oraz dostępnych egzemplarzy danego produktu;
- weryfikacja zgodności dawek podawanych pacjentom leków w celu zapobiegnięcia nieprawidłowości i efektów ubocznych;

- zapisywanie historii odwiedzin gości oraz poprzez powiązanie gościa z pacjentem przestrzeganie o nieprawidłowej lokalizacji danej osoby, która może być potencjalnym złodziejem lub przestępcą;
- analiza danych w celu obliczenia różnych metryk takich jak przepływ pacjentów w szpitalu w określonym okresie czasu, zajęcie szpitala, średnie wydatki na wyposażenie oraz obciążenie personelu medycznego;
- dostęp do specjalnych pomieszczeń w zależności od pozycji i uprawnień pracownika;
- oznakowywanie próbek laboratoryjnych oraz śledzenie ich wykorzystania w badaniach.

3 Problem prywatności danych

Choć przeszkód na drodze do pełnego zaadoptowania rozwiązań RFID i NFC w medycynie jest kilka (wysoka cena, poziom skomplikowania, brak kompatybilności między producentami i wiele innych), zdecydowanie największym problemem jest prywatność danych osobowych. Urządzenia stosujące te technologie do poprawnego funkcjonowania muszą posiadać dostęp do wrażliwych danych. Ma to szczególne znaczenie w przypadku znaczników RFID, gdzie z reguły nie implementuje się złożonych mechanizmów szyfrowania. To skutecznie dyskwalifikuje ten standard z wykorzystania w przechowywaniu chronionych prawnie danych.

Ponieważ systemy korzystające z tych technologii mają wiele składowych istnień ryzyko włamania się do nich poprzez mniej zabezpieczone fragmenty systemu. Jest on tak bezpieczny jak jego najsłabsze ogniwo. Ma to duże znaczenie przy stosowaniu pasywnych znaczników RFID, które mogą posłużyć do wykonania większego ataku. Wspierają one co najwyżej jedynie operację XOR oraz rotację. Dzisiejsze systemy wymagają znacznie bardziej złożonych algorytmów (takich jak chociażby szyfrowanie asymetryczne). Pół-pasywne tagi mogą mieć dostęp do generatorów liczb pseudolosowych, haszowania oraz sumy kontrolnej, co umożliwia wykorzystanie chociażby algorytmów krzywych eliptycznych. Producenci aplikacji mobilnych służących do komunikacji z urządzeniami NFC często nie zwracają dużej uwagi na kwestię bezpieczeństwa, co jeszcze bardziej pogłębia skalę problemu.

W sercu takich systemów często występują zwykłe systemy operacyjne takie jak Linux albo nawet Windows, które są rzadko aktualizowane. To oznacza możliwość włamania się na nie poprzez przestarzałe i znane już luki bezpieczeństwa, którym zapobiega aktualizacja nieobecna na wykorzystywanym systemie operacyjnym. Przykłady takich ataków to Heartbleed (umożliwiający kradzież danych poprzez lukę w bibliotece OpenSSL pomiędzy wersjami z lat 2012-2014) oraz KRACK

(atak na sieci Wi-Fi stosujące klucze WPA2). Popularnym sposobem zwalczania tego typu wrażliwości jest całościowy monitoring systemu oraz reagowanie na anomalie w nim występujące. Do tego celu można wykorzystać uczenie maszynowe. Niestety, rozwiązania te często zbyt bardzo obciążają system i ostatecznie instytucje medyczne decydują się na rezygnację z tych zabezpieczeń na rzecz płynności działania systemu [10].

Możliwość skanowania znaczników RFID z dalekiego dystansu bez weryfikacji tożsamości umożliwia inwigilację stanu obiektu medycznego oraz potrafi wspomóc włamywaczy w opracowaniu optymalnego czasu przestępstwa. NFC jest bardziej bezpieczną alternatywą ze względu na krótki zasięg komunikacji.

Potencjalne rozwiązania tego typu zagrożeń to anonimizacja danych pacjenta. Wówczas kradzież danych nie spowoduje wycieku wrażliwych danych. Kolejnym krokiem jest szyfrowanie wszystkich potencjalnie wrażliwych wiadomości, które można zaszyfrować. Ostatecznie pozostaje ochrona obiektów poprzez monitoring i ochronę.

Kilka najpopularniejszych ataków na systemy wykorzystujące technologię RFID oraz NFC w medycynie to:

- **skimming** - odczytywanie informacji z urządzeń komunikujących się za pomocą technologii RFID lub NFC bez wiedzy posiadacza urządzenia. Jest to często wykorzystywana metoda pozwalająca na kradzież pieniędzy z kart bankowych, które umożliwiają płacenie zbliżeniowe bez uwierzytelnienia. Nawet jeżeli dostęp do danych jest chroniony hasłem, istnieje możliwość sklonowania tagu i modyfikację danych pacjenta lub uzyskanie dostępu do miejsc pod ścisłą ochroną;
- **eavesdropping** - podsłuchiwanie wiadomości przesyłanych między urządzeniami. Jednym z potencjalnych rozwiązań utrudniających ten atak jest wykorzystanie metody zmiany częstotliwości, na której odbywa się komunikacja (*frequency-hopping spread spectrum*) lub sztucznie generowany szum;
- **man-in-the-middle** - atakujący modyfikuje dane w trakcie transportu od nadawcy do odbiorcy - nawet bez potrzeby nasłuchiwanie na rozpoczęcie komunikacji. Ten typ ataku jest rzadko stosowany głównie ze względu na wymóg znajdowania się w bliskiej odległości od urządzenia aby móc przechwycić wiadomości zanim dotrą do odbiorcy. Jest to w szczególności trudne w przypadku pasywnych tagów RFID, które wspierają komunikację jednostronną. Niektóre protokoły komunikacji posiadają jednak luki, które umożliwiają tego typu ataki - przykładem są systemy wykorzystujące protokoły z rodzaju Hop and Bloom, które są podatne na atak Gilbert-Robshaw-Sibert;

- **power/electromagnetic analysis** - rodzina ataków opierająca się na analizie fizycznych charakterystyk urządzeń takich jak pobór energii w trakcie pojedynczej operacji (*simple power analysis*) lub w trakcie wielu operacji na przestrzeni czasu (*differential power analysis*). Dzięki temu można uzyskać informację o kluczach szyfrowania. Dzięki analizie zmian w polu magnetycznym wokół urządzeń można wywnioskować jakie konkretne bity zostały przesłane. Powszechnie stosowaną metodą zapobiegania tego typu atakom jest stosowanie algorytmów z kryptografii asymetrycznej, a dokładniej algorytmów z rodziny ECC;
- **timing attack** - wykorzystanie odstępu czasowego między wysłaniem komunikatu od tagu do czytnika do identyfikacji tagów (gdyż czytnik powinien autoryzować je w mniej więcej tym samym czasie co poprzednio) lub nawet odgadnięcia kluczy wykorzystywanych w komunikacji;
- **DoS** - atak odmowy dostępu (*Denial of Service*) polegający na zalaniu urządzeń komunikujących się nawzajem sztucznie spreparowanymi wiadomościami;
- **tag cloning** - utworzenie kopii prawdziwego tagu w celu uzyskania nieupoważnionego dostępu do wrażliwych części systemu.

4 Przykładowe produkty komercyjne

Technologie RFID oraz NFC są powszechnie stosowane w medycynie we wszystkich obszarach powiązanych z leczeniem od kontroli dostaw aż po zbieranie informacji biometrycznych o pacjentach. Jeden z pierwszych obszarów medycyny, w którym wykorzystano te technologie to oznakowywanie leków. Jedną z pierwszych firm korzystających z technologii automatycznej identyfikacji była firma Pfizer, która w 2006 roku dodała tagi RFID do produktów Viagra. Rysunek 3 przedstawia lokalizację tagu RFID w tym produkcie (pod opisem składu i dawkowania produktu).



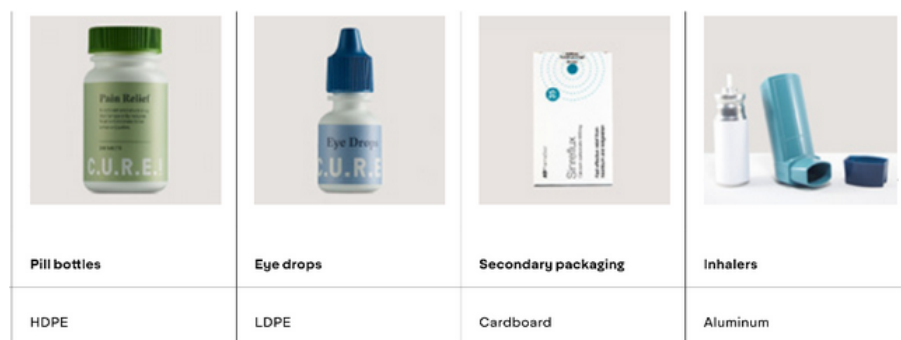
Rysunek 3: Wygląd produktu Pfizer z oznaczeniem lokalizacji tagu RFID [14].

Od tamtego czasu wiele innych firm dołączyło do rynku produktów medycznych wykorzystujących technologię RFID oraz NFC. Poniżej znajduje się kilka przykładów spośród różnych obszarów przemysłu medycznego.

4.1 Smart label

Inteligentne oznaczenia (*smart label*) to najbardziej rozwinięta część rynku jeżeli chodzi o technologię RFID oraz NFC w medycynie. Wykorzystuje się je do oznaczania wielu obiektów wykorzystywanych w medycynie - od narzędzi aż do samych pacjentów. Dzięki temu znacznie przyspiesza się zarządzanie oznaczonymi obiektami, co jest bardzo kosztowne dla placówek medycznych korzystających z samych kodów kreskowych.

Jedną z firm specjalizujących się w produkcji inteligentnych oznaczeń jest **Avery Denison**. Zajmuje się ona również oznaczaniem wielu innych produktów takich jak plastikowe opakowania. W kontekście przemysłu medycznego ich oznaczenia można umieścić na wielu produktach - szczepionkach, tabletkach, kroplach do oczu a nawet inhalatorach.



Rysunek 4: Oferta znaczników od firmy Avery Denison w medycynie [15].

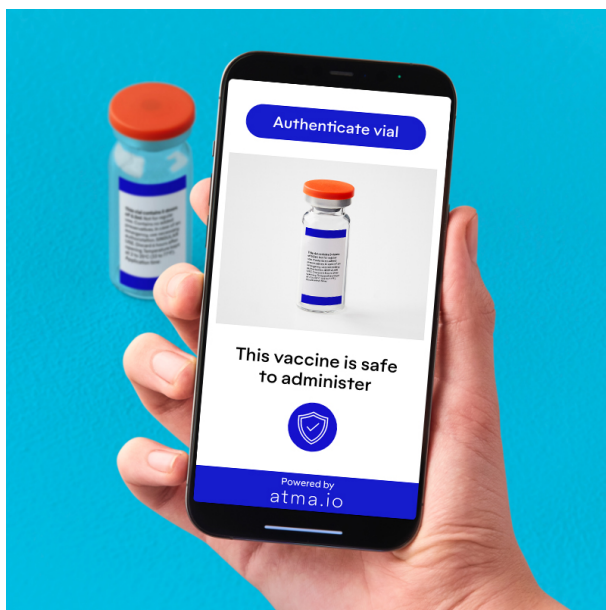
Firma ta w swoich usługach zapewnia również informowanie placówek medycznych o zmianach produktu (modyfikacji składu, ceny, rozmiaru opakowania) rok przed ich wprowadzeniem.

Osobna oferta firmy Avery Denison jest kierowana do produktów o małej średnicy, które wymagają innego przetwarzania. Przede wszystkim muszą być dopasowane do zakrzywienia produktu, obejmować średnice od 7-25 mm, wytrzymać wysokie ciepło oraz wilgotność podczas sterylizacji oraz bardzo niskie temperatury podczas przechowywania w chłodniach. Niektóre z nich muszą znosić temperaturę chłodzenia kriogenicznego - temperaturę mniejszą niż -150 stopni Celsjusza.

Inną firmą zajmującą się przemysłem medycznym jest firma **RFID Canada**. Zajmują się oni sprzedażą produktów wykorzystujących technologię RFID takich

jak bransoletki, oznaczenia oraz tagi. Nie zajmują się oni jednak wdrażaniem tych technologii w danej placówce medycznej.

Kolejną firmą jest **CCL Industries**, która oferuje znaczniki niewidoczne dla ludzkiego oka, najczęściej chowane za etykietami naklejonymi na opakowanie. Ma to na celu zmniejszenie ryzyka podmiany bądź odkrycia położenia tagów przez przestępców.



Rysunek 5: Odczyt autentyczności produktu z tagiem NFC [15].

Firmy **Shreiner Group** oraz **NXP** oferują dodatkowe opcje szyfrowania danych przechowywanych i wymienianych między czytnikiem a oznaczeniem NFC. Oferuje to zwiększone bezpieczeństwo danych oraz zmniejszenie ryzyka nieuprawnionej modyfikacji. Rozwiązania firmy Shreiner można umieszczać na innych materiałach niż sam plastik - jeden z ich produktów jest przeznaczony do oznaczania produktów wykonanych z metalu.



Rysunek 6: Oznaczenie RFID na powierzchni metalowej [16].

4.2 Śledzenie obiektów

Ponieważ szpitale inwestują w masowe ilości przedmiotów wykorzystywanych do leczenia, istotnym problemem jest dopilnowanie, aby żaden egzemplarz się nie zgubił. Firma **Murata** oferuje oznaczenia na sprzęt chirurgiczny. Ich rozwiązania oferują nie tylko śledzenie położenia, ale również ilość użycia oraz sprawdzenie kompletności narzędzi poprzez pojedyncze zeskanowanie.

Tego typu oznaczenia są również umieszczane na elementach garderoby, drogich lekach, urządzeniach medycznych, a nawet ważnych dokumentach dotyczących procesu leczenia. Mniej oczywistym zastosowaniem tego typu technologii jest oznaczanie odpadów do utylizacji. Dzięki tej technologii można upewnić się, że wszystkie odpady zostały zutylizowane. Firma NXP zaprezentowała na wystawie technologicznej w 2023 roku urządzenie służące do szybkiego zliczania obiektów oraz uzyskiwania informacji o ich szczegółach za pomocą jednego ruchu skanera.



(a) Początek skanowania

(b) Liczba przedmiotów

(c) Spis przedmiotów

Rysunek 7: Prezentacja masowego skanowania przez firmę NXP [26].

Szpitalom potrzebują mieć możliwość śledzenia nie tylko przedmiotów, ale również pacjentów - a w szczególności noworodków. Wykorzystanie technologii RFID umożliwia śledzenie ich położenia oraz ich identyfikację w celu zapobieżenia uprowadzeniom dzieci lub próbie podszycia się pod innego pacjenta. Firma XINYETONG oferuje tego typu produkty w postaci opasek z technologią RFID.



Rysunek 8: Oznaczone bransoletki sprzedawane przez firmę XINYETONG [18].

Opaski identyfikujące oraz mechanizmy śledzenia mogą być wykorzystywane do rejestracji, podczas której wręcza się pacjentowi lub gościowi tag RFID. Jeżeli połączy się to rozwiązanie z rejestracją internetową, pacjent nie musi się przedstawiać i oszczędza czas potrzebny na rejestrację osobistą w przychodni.

4.3 Kontrola dostępu

Popularne zastosowanie technologii RFID oraz NFC występujące nie tylko w medycynie ale w wielu innych rozwiązaniach to kontrola dostępu. W tym przypadku najczęściej stosuje się standardowe technologie wykorzystywane w innych

branżach takie jak karty magnetyczne czy też tagi RFID/NFC pozwalające na rejestrowanie czasu pracy poprzez przyłożenie ich do czytnika najczęściej umieszczonego przy wejściu do szpitala lub wyjściu. Niektóre firmy takie jak XINYETONG oferują zawarcie znaczników w elementach ozdobnych takich jak breloki do kluczy.



Rysunek 9: Wybór stylizowanych znaczników RFID/NFC jest ogromny [27].

4.4 Urządzenia IoMT

Rozwiązaniem zyskującym coraz to większą popularność jest wykorzystanie technologii NFC i Internetu Przedmiotów do stworzenia urządzeń IoMT, które są w stanie nie tylko komunikować się między sobą ale również wykonywać dodatkową logikę. Przykładem takiego rozwiązania jest narzędzie Lock & Key firmy Shreiner Group, które pozwala na zablokowanie leku za pomocą zewnętrznego urządzenia (Lock) lub weryfikację leku (Key) - dzięki temu lekarze mogą mieć pewność, że dany lek nie został w żaden sposób zmodyfikowany. Urządzenia pełniące funkcję zamków mogą również udzielać informacji o stanie leku, dacie ważności lub ilości użyć za pomocą wyświetlacza wbudowanego w urządzenie.



Rysunek 10: Urządzenie Lock & Key do weryfikacji leku [28].

Przechowywanie informacji o ilości użyć pozwala również na kontrolę zgodności przyjmowanych dawek z zaleceniami lekarza. Jednym z takich rozwiązań jest nakładka na iniektor insuliny o nazwie SmartPilot™. W połączeniu z przeznaczonym mu urządzeniem - UnoPen™ - pacjent uzyskuje możliwość śledzenia pojedynczej dawki oraz ilości użyć. Dodatkowo może on również posiadać mechanizm alarmowania o kończącej się substancji wewnątrz iniektora.



Rysunek 11: Urządzenie UnoPen™ ze SmartPilot™ (po prawej) [29].

Podobne rozwiązania stosuje się w przypadku innych metod podawania leku.

Przykładem tego jest inhalator na astmę z oznaczeniem wykonanym przez firmę NXP, które pozwala na śledzenie pozostałych ilości dozowania do wykorzystania. Ilość użyć jest obliczana na podstawie ilości naciśnieć przycisku aplikującego inhalator.

Technologia NFC może być łączona ze specjalnymi czytnikami, takimi jak te produkowane przez NXP, w celu weryfikacji poprawności leku i odczytanie danych zaszyfrowanych za pomocą bardziej złożonych algorytmów kryptograficznych.



(a) Umieszczanie produktu w czytniku.

(b) Autoryzacja złożonym algorytmem.

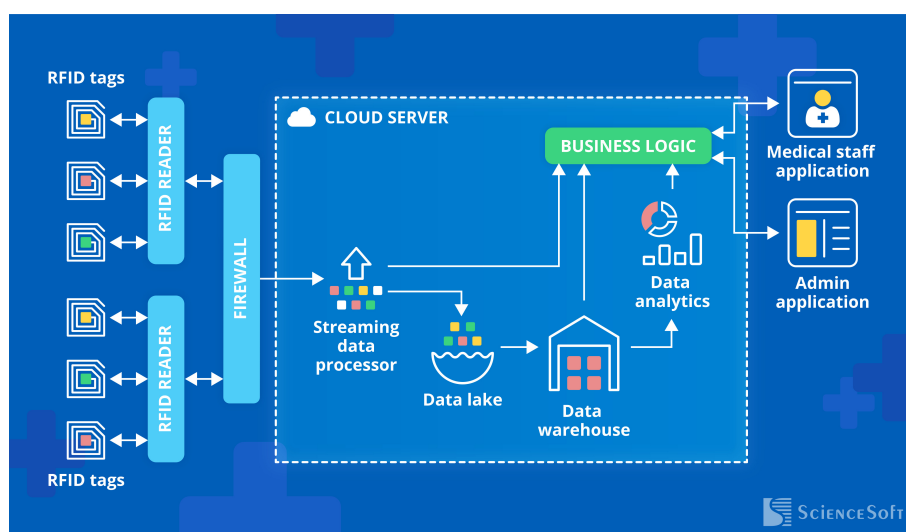
Rysunek 12: Prezentacja weryfikacji złożoną kryptografią [26].

5 Przyszłe zastosowania

Istotnym problemem technologii RFID w medycynie jest wykorzystywanie lokalnych standardów, które są wykorzystywane tylko przez konkretnego producenta. To powoduje problemy z ewentualną zmianą dostawcy urządzeń oraz niepotrzebną fragmentacją rynku gdzie instytucje medyczne muszą dopłacać ogromne pieniądze aby utrzymywać wsparcie dla przestarzałych technologii (z których nadal korzystają). Dodatkowo tworzy to niepotrzebne komplikacje podczas łączenia wykorzystywanych dotychczas systemów z produktami innego dostawcy. Niezgodność między standardami może nawet uniemożliwić połączenie niektórych podsystemów. Z tego powodu istotnym aspektem przyszłości technologii RFID jest dążenie do powszechnego przyjęcia jednolitego standardu takiego jak kody kreskowe GS1.

Kolejnym istotnym aspektem rozwoju technologii RFID jest dbanie o większe bezpieczeństwo danych oraz prywatność pacjentów. W tym celu rozpatruje się wykorzystanie technologii blockchain. Zastosowanie tagów RFID jako źródeł danych tworzących blockchain pozwala również na dokładniejszą historię korzystania z danego obiektu odporną na nieupoważnioną modyfikację.

Coraz więcej rozwiązań rezygnuje z gromadzenia danych w lokalnych bazach danych i przenosi swoje zasoby do serwisów chmurowych. Choć ma to swoje wady i zalety, systemy te często mają lepsze zabezpieczenia niż lokalnie zaprojektowany system bazodanowy dla konkretnej instytucji medycznej, który nie jest regularnie aktualizowany. Rysunek 13 przedstawia przykład architektury chmurowej, która służy do zarządzania zasobami medycznymi. Charakterystyczną częścią tego systemu jest zaporę (*Firewall*), która umożliwia dodatkową filtrację informacji przesyłanych do czytników RFID. Następnie dane te są składowane w repozytoriach danych, które później umożliwiają analizę danych i poszukiwanie anomalii.



Rysunek 13: Architektura systemu chmurowego służącego do kontroli zasobów [4].

Urządzenia internetu przedmiotów są często łączone ze sobą w sieć komunikacyjną przybierając postać bezprzewodowej sieci sensorowej. Dzięki temu istnieje możliwość rozwoju opieki medycznej w trybie zdalnym. Lekarz i pielęgniarka nie będą musieli odwiedzać pacjenta osobiście. Dane na temat zdrowia pacjenta będą regularnie wysyłane do szpitala, dzięki czemu lekarz będzie w stanie zareagować doraźnie i nie czekać do kolejnej wizyty (kiedy może już być za późno). Coraz większa popularność sztucznej inteligencji zachęca do integracji z tymi systemami do predykcji potencjalnych problemów bądź ewaluacji ogólnego stanu zdrowia pacjenta. Przyszłe systemy będą mogły informować pacjenta o sposobach postępowania w przypadku zagrożenia bez ingerencji lekarza.

Wraz z nadejściem pandemii koronawirusa świat zwrócił większą uwagę na problemy związane ze zdrowiem psychicznym. W kontekście medycyny dotyczy to szczególnie personelu medycznego, który cierpi na wypalenie zawodowe. Ograniczenie pracy administracyjnej, która jest dla lekarzy nieprzyjemna bądź uciążliwa

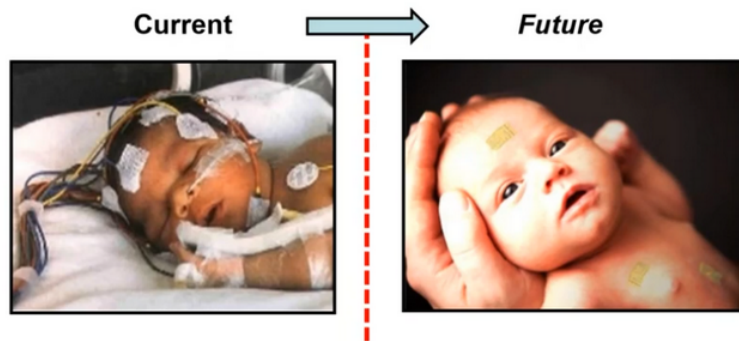
umożliwia zmniejszenie częstotliwości tego zjawiska. Dodatkowo, kontrola godzin pracy pozwoli na zmniejszenie obciążenia personelu medycznego wynikającego z nieprawidłowości w zarządzaniu.

Technologie NFC są głównie wykorzystywane wraz z urządzeniami mobilnymi. Popularnym zastosowaniem tego mechanizmu jest odczytywanie danych na temat produktów poprzez ich dotknięcie telefonem z aplikacją dostosowaną do danego znacznika. Rysunek 14 pokazuje wykorzystanie telefonu do odczytu poziomu glukozy we krwi pobranej za pomocą zewnętrznego urządzenia i odpowiednią reakcję na pomiar. W przypadku niebezpieczeństwa aplikacja może powiadomić lekarza bądź szpital o zagrożeniu zdrowia pacjenta. Rozwiązanie to umożliwia również regularne aktualizacje oprogramowania na urządzeniu, a co za tym idzie lepsze zabezpieczenia danych.



Rysunek 14: Czytnik poziomu cukru we krwi z NFC [19].

Rewolucja w medycynie dokonana przez wykorzystanie RFID oraz NFC rozpoczęła zastępowanie aktualnych systemów często bardzo niewygodnych dla pacjenta poprzez miniaturowe urządzenia, które są w stanie wykonywać te same czynności bez ograniczania ruchu pacjenta. Rysunek 15 pokazuje przykład takiego przejścia w przypadku pobierania danych z ciała niemowlaków, które są szczególnie ograniczone ruchowo przez dużą ilość okablowania obecnych urządzeń monitorujących.



Rysunek 15: Redukcja rozmiarów urządzeń kontrolujących funkcje życiowe [19].

6 Podsumowanie

Technologia RFID oraz NFC zaczyna nabierać coraz większego znaczenia w medycynie. Do tej pory zrewolucjonizowała ona przemysł i transport. Ponieważ instytucje medyczne przechodzą podobne procesy (zamawianie leków, inwentaryzacja, kontrola dostępu) - wykorzystanie urządzeń zbliżeniowych było tylko kwestią czasu. Technologia RFID oraz NFC jest bardzo atrakcyjna ze względu na niwelowanie niepotrzebnej pracy administracyjnej i obniżanie błędów ludzkiego w procesie leczenia - zwiększając w ten sposób bezpieczeństwo i komfort pacjentów.

Miniaturowy rozmiar oznaczeń pozwala na stosowanie tego typu technologii bezpośrednio na skórze pacjentów oraz w przedmiotach wykorzystywanych przez lekarzy. Producenci rozwiązań technologicznych potrafią również ukryć oznaczenia RFID i NFC, a następnie wykorzystać je do wykrywania kradzieży i oszustw.

Skuteczne wykorzystanie technologii RFID umożliwia ochronę personelu medycznego przed wypaleniem, zmniejszenie kosztów leczenia, udoskonalone wykrywanie różnego rodzaju przestępstw oraz skuteczniejszą reakcją na nagłe pogorszenie się zdrowia pacjenta. W przyszłości pozwoli to również na zdalne leczenie.

Technologia RFID oraz NFC stała się nieodłączną częścią pracy wielu placówek medycznych i przewiduje się, że integracja ta będzie coraz bardziej widoczna.

Bibliografia

- [1] Laura Profetto, Monica Gherardelli, Ernesto Iadanza;
Radio Frequency Identification (RFID) in health care: where are we? A scoping review
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9398041/>
- [2] Sima Ajami, Ahmad Rajabzadeh;
Radio Frequency Identification (RFID) technology and patient safety
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3872592/>
- [3] Eichen Crutchlow Zaslow;
The Most Common Causes of Death in Hospitals and Healthcare Settings
<https://www.njadvocates.com/2023/08/07/the-most-common-causes-of-death-in-hospitals-and-healthcare-settings/>
- [4] Gala Batsishcha, Pavel Ilyusenko, Ann Krutsko;
RFID Technology: An Overview for Hospitals
<https://www.scnsoft.com/healthcare/iot/rfid-in-hospitals>
- [5] *RFID in Healthcare*
<https://www.hadatap.pl/en/rfid-applications/healthcare/>
- [6] *Experience the future of safe healthcare with NFC: Protect against counterfeits and enhance user experience*
https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-Experience_the_future_of_safe_healthcare_with_NFC_ApplicationBrochure-v01_00-EN.pdf?fileId=8ac78c8c8779172a018798228674794c
- [7] Ankitha Prasannan;
How can Near-Field Communication (NFC) be Used in Healthcare?
<https://mindster.com/mindster-blogs/how-can-near-field-communication-nfc-be-used-in-healthcare/>
- [8] Perceptive Components Limited;
NFC in Healthcare
<https://www.linkedin.com/pulse/nfc-healthcare-perceptive-components-limited-rcifc>
- [9] Emanuele Raso, Giulio Maria Bianco, Lorenzo Bracciale, Gaetano Marrocco, Cecilia Occhiuzzi, Pierpaolo Loreti;
Privacy-Aware Architectures for NFC and RFID Sensors in Healthcare Applications
<https://www.mdpi.com/1424-8220/22/24/9692>

- [10] Zornitza Prodanoff, Edward L. Jones, Hongmei Chi, Sherif Elfayoumy, Cynthia Cumming;
Survey of Security Challenges in NFC and RFID for E-Health Applications
https://www.researchgate.net/publication/302916845_Survey_of_security_challenges_in_NFC_and_RFID_for_e-Health_applications
- [11] *Threat Challenges on RFID Based NFC Applications*
<https://encyclopedia.pub/entry/50993>
- [12] Mitchell Parker;
RFID security for hospitals: Vigilant data monitoring is key
<https://www.healthcareitnews.com/news/rfid-security-hospitals-vigilant-data-monitoring-key>
- [13] Sally Turner;
RFID: The future of smart labelling?
<https://www.pharmaceutical-technology.com/features/is-rfid-the-future-of-smart-labelling>
- [14] Gary M. Gaukler, Ralf W. Seifert;
Applications of RFID in Supply Chain Management
https://www.researchgate.net/publication/37439314_Applications_of_RFID_in_Supply_Chain_Management
- [15] Avery Denison;
Our products
<https://label.averydennison.com/eu/en/home/products/pharmaceutical-labels/our-products.html>
- [16] Shreiner Group;
RFID and NFC
<https://www.schreiner-group.com/en/competences/technologies/rfid-and-nfc/>
- [17] *Surgical tool tracking with RFID*
<https://solution.murata.com/en-global/service/rfid-solution/solution/case-study/surgical-instruments/>
- [18] *RFID for Access Control*
<https://www.asiarfid.com/rfid-for-access-control.html>
- [19] Stefan Genser, John Rogers, Tania Guidet, Vincent Bouchiat;
Exploring the Future of Healthcare with Innovations in NFC Technology

<https://nfc-forum.org/videos/exploring-the-future-of-healthcare-with-innovations-in-nfc-technology/>

- [20] Karl Hoelper;
Realizing RFID's Potential in Healthcare: Tackling Closed-Loop System Hurdles
<https://medtechintelligence.com/column/realizing-rfids-potential-in-healthcare-tackling-closed-loop-system-hurdles/>
- [21] Akansha Sharma;
The Future of Healthcare with RFID and IoT-enabled Connected Devices
<https://www.encstore.com/blog/5367-the-future-of-healthcare-with-rfid-and-iot-enabled-connected-devices>
- [22] ShopID;
CHAINWAY SR160 Barcode + UHF RFID Scanner / Bluetooth
<https://www.shopid.eu/chainway-sr160-barcode-uhf-rfid-scanner-bluetooth-p6054/>
- [23] AliExpress;
Przenośny czytnik UHF RFID EU US częstotliwość UHF ręczny czytnik RFID pisarz z połączeniem USB Bluetooth
<https://pl.aliexpress.com/item/1005004732598905.html>
- [24] City of Hope;
Should cancer patients wear a medical alert device?
<https://www.cancercenter.com/community/blog/2023/03/medical-alert-bracelet-cancer-patients>
- [25] Cristina Ardila;
Six Ways NFC Helps Healthcare
<https://www.nxp.jp/company/blog/six-ways-nfc-helps-healthcare:BL-6-WAYS-NFC-HELPS-HEALTHCARE>
- [26] NXP;
NXP at Medica 2023 <https://www.nxp.com/video/nxp-at-medica-2023:NXP-MEDICA-VID>
- [27] Made-in-China;
Professional 1K RFID Custom Leather Key Fob <https://synteksmart.en.made-in-china.com/product/zCWxBNTjlvhl/China-Professional-1K-RFID-Custom-Leather-Key-Fob.html>

- [28] Schreiner Group;
Robust RFID-Label <https://www.schreiner-group.com/en/products/pharmaceutical-industry/smart-labels/robust-rfid-label/>
- [29] Schreiner Group;
NFC-Label for UnoPen™: Smart Device Supports Patients
<https://forum.schreiner-group.com/en/nfc-label-for-unopen-smart-device-supports-patients/>