

Henryk ŁUKASIEWICZ*

TENDENCJE ROZWOJOWE I MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA SENSORÓW I SIECI SENSORÓW DO CELÓW WOJSKOWYCH

Problematyka wykorzystania sensorów, nie tylko u nas w kraju, jest tematem gorących dyskusji, prac badawczych oraz polemik. W związku z powstaniem koncepcji działań sieciocentrycznych, nastąpiło zwiększenie intensywności prac badawczo - rozwojowych w zakresie wykorzystania sensorów do celów wojskowych. W stosunku do sensorów oraz sieci sensorów dla potrzeb sił zbrojnych stawiane są bardzo wysokie wymagania, nie tylko związane z kosztami, ale przede wszystkim wymagania związane z możliwościami rozpoznawczymi, zachowaniem bezpieczeństwa transmisji danych, odporności na zakłócenia elektromagnetyczne, itp. wymagań. Powyższa publikacja ma na celu przybliżenie czytelnikowi zagadnień związanych z wielkościami fizycznymi mierzonymi przez sensory oraz budową sensorów, i jest pierwszą publikacją z cyklu artykułów dotyczących sensorów i sieci sensorów do zastosowań militarnych.

Słowa kluczowe: sensory, sieć sensorów

WSTĘP

Współczesne konflikty dobitnie ujawniły ważność świadomości sytuacyjnej i konieczność tworzenia jakościowo nowych warunków pola operacji militarnych. Zjawisko organizowania przestrzeni informacyjnej na potrzeby sił zbrojnych już istnieje i wciąż się nasila. Wykorzystanie wiedzy zgromadzonej w sieciach teleinformatycznych do formowania i stosowania wielorodzajowej siły, adekwatnie do sytuacji na polu walki staje się nieporównywalnie bardziej efektywne. Zdobycie przewagi informacyjnej umożliwi wielokrotnienie zdolności posiadanych sił, czyniąc je bardziej operatywnymi, zwrotnymi oraz łatwiej przystosowującymi się do dynamiki podejmowanych i prowadzonych działań. Mając mniej zaangażowanych sił i środków, będzie można osiągnąć więcej. Współczesne systemy dowodzenia i kierowania muszą zintegrować systemy rozpoznania i środki rażenia ze stanowiskami dowodzenia, na których rzecz działa-

* płk dr inż. Henryk ŁUKASIEWICZ – Instytut Dowodzenia Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych

ją. Ponadto muszą posiadać zdolność do szerokiej dystrybucji informacji uzyskiwanej m. in. przez sensory rozmieszczone na różnych platformach w czasie zbliżonym do rzeczywistego. Współczesna koncepcja prowadzenia operacji bazująca na przewadze informacyjnej zwana jest sieciocentryzmem – wzrost siły bojowej jest generowany poprzez połączenie w sieć informacyjną sensorów, decydujących i systemów walki do osiągnięcia wymiernych efektów¹. Według J. Kręcikija, masowe użycie sensorów jest jednym z wyróżników działań sieciowocentrycznych, zasada ta w swej istocie sprowadza się do szerokiego stosowania sensorów działających w sieci (przestrzeni) informacyjnej, rozmieszczanych w różnych odległościach od sił własnych (platform bojowych), które zapewnią dopływ informacji niezbędnej do osiągnięcia założonych efektów operacyjnych. Takie wykorzystanie sensorów na niespotykaną dotąd skalę ma umożliwić²:

- bardziej intensywną i przez to skokowo bardziej skuteczną działalność rozpoznania;
- utrzymanie i stworzenie warunków do wykorzystywania przewagi informacyjnej;
- wykorzystanie każdej platformy uzbrojenia jako sensora, począwszy od pojedynczego żołnierza, na satelitach skończywszy („*each platform is a sensor*”).

Ponieważ koncepcja zastosowań sensorów dla potrzeb militarnych jest koncepcją przyszłościową, rozpoczęto prace badawcze dotyczące opracowania założeń taktyczno – technicznych sensorów do zastosowań militarnych dla SZ RP, a następnie ich produkcji.

Efektom militarnego podejścia do zastosowania sensorów dla potrzeb SZ RP było opracowanie przez Ministerstwo Szkolnictwa Wyższego „Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych na Rzecz Przemysłowego Potencjału Obronnego PPO”, a następnie ogłoszenie konkursu na realizację projektów rozwojowych z obszaru obronności i bezpieczeństwa państwa.

W SZ RP zgodnie z „Planem badań naukowych, prac rozwojowych i studyjnych na lata 2009 – 2018” uwzględniono badania związane z zastosowaniem sensorów w siłach zbrojnych. Zasadnicze kierunki badań związane z sensorami ujęte w powyższym planie obejmują³ dwa obszary technologiczne:

I. Technologie priorytetowe wynikające ze zdolności operacyjnych

A. Technologie informacyjne i sieciowe.

1. Teleinformatyczna infrastruktura dla osiągnięcia zdolności sieciocentrycznych

1.4. Bezprzewodowe sieci sensorowe ochrony sił własnych oraz wsparcia działań sieciocentrycznych.

B. Sensory i obserwacja:

3. Zintegrowane (wieloczujnikowe i multispektralne) systemy rozpoznania i przeciwdziałania.

II. Technologie przełomowe

B. Bezprzewodowe sieci sensorów:

¹ J. Kręcikij, *Działania sieciocentryczne. Wybrane problemy*, AON, Warszawa 2005.

² Tamże, s. 47.

³ Dowództwo Wojsk Lądowych, Pismo nr 16/fax/prace studyjne/racjonalizacja z dn. 10.10.2008 r.

1. Sensory MEMS zapewniające niski koszt, niską masę a przede wszystkim niskie zużycie energii.
3. Odporne, samo konfigurujące się algorytmy sieci sensorów.
5. Kodowanie i bezpieczeństwo.

C. Nowoczesne sensory.

2. Urządzenia MEMS – sensory mikroprocesorowe na tzw. „Chipie”.

1. BUDOWA I PRZEZNACZENIE SENSORÓW

Rozwój techniki oraz technologii przetwarzania i zarządzania informacją pozwala spełniać różne marzenia ludzkości – m.in. komunikację na odległość, łatwiejszy sposób przemieszczania się, przyjazne i szybkie przetwarzanie informacji. Można powiedzieć, iż człowiek dąży do tego, aby swoje życie uczynić jak najwygodniejszym. Popularne staje się hasło tzw. inteligentnego otoczenia (ang. *smart environment*), które oparte o sensory oraz sieci sensorów ma zrewolucjonizować budownictwo, przemysł, oraz wszelkie dziedziny, w których następuje pobieranie, przetwarzanie i archiwizacja informacji (czyli praktycznie wszystkie aspekty naszego życia). Inteligentne środowisko ma za zadanie pobierać określone dane z otoczenia, które następnie za pomocą inteligentnych sensorów (ang. *smart sensors*) są obrabiane i przekazywane dalej (do kolejnych sensorów lub pozwalających na bardziej skomplikowaną analizę). W ten sposób można dokonać pomiarów interesującego nas obszaru (np. do określenia pogody), pomiarów w miejscach niedostępnych dla człowieka (np. gniazda ptaków), usprawnienie działania domu mieszkalnego (tzw. inteligentny dom), ale również wykorzystać sieć sensorów do opieki nad chorymi itd.

Ponieważ w dostępnej literaturze często występuje zamiennie pojęcie sensor - czujnik, należy sprecyzować ww. pojęcia.

Zgodnie z definicją zawartą w Encyklopedii Wikipedia – **czujnik (sensor)** to fizyczne bądź biologiczne narzędzie, będące najczęściej elementem składowym większego układu, którego zadaniem jest wychwytywanie sygnałów z otaczającego środowiska, rozpoznawanie i rejestrowanie ich. Z kolei w „Słowniku informatycznym”⁴ wydawnictwa Helion, **czujnik (ang. sensor)** w systemach czasu rzeczywistego definiowany jest jako cyfrowy lub analogowy element automatyki występujący między sterowanym urządzeniem a mikrokontrolerem, wysyłający do komputera sygnały o stanie urządzenia.

Z punktu widzenia robotyki **sensor**⁵ to łącznik elektroniczny, którego pojemność lub przewodność zmienia się pod wpływem dotyku (a nawet zbliżenia palca), co powoduje zmianę sygnału przyłączającego obwód sterowany; stosowany w komputerach sterujących pracą robotów; dzięki sensorom robot może ustawić właściwą dynamikę ruchów, siłę uścisku itp. W naukach technicznych, **czujnik** to urządzenie dostarczające informacji o pojawieniu się określonego bodźca, przekroczeniu pewnej wartości progowej lub o wartości rejestrowanej wielkości fizycznej. W tym ujęciu układ czujnika składa się z czujnika, przetwornika oraz często układu kondycjonowania sygnału telemetrycznego. Najczęściej spotykanymi czujnikami są czujniki dostarczające informacji o jednej z wielkości elektrycznych, takich jak: napięcie, natężenie prądu, opór

⁴ P. Adamczewski, *Słownik informatyczny*, wyd. Helion, Warszawa 2005.

⁵ [online] [dostęp: 10.01.2011]. Dostępny w Internecie: <http://encyklopedia.interia.pl/haslo?hid=102487>

elektryczny. Przyczyną tego jest fakt, że prąd elektryczny to sygnał, który łatwo wzmocnić, przesłać na duże odległości, poddać dalszemu przetwarzaniu przy użyciu technik cyfrowych i komputerów, a także zachować. Powyższa definicja, uprzednio zmodyfikowana, mogłaby odnieść się równie dobrze do narządów w sensie biologicznym, szczególnie narządów zmysłów. Dzięki rozwojowi teorii systemów, termin ten został zaadoptowany do nauk społecznych, szczególnie psychologii (kognitywizm).

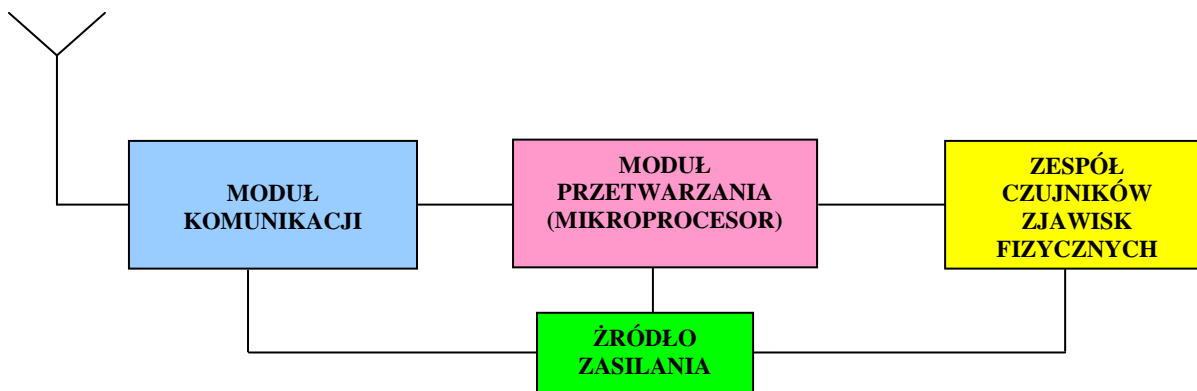
Z kolei pracownicy naukowcy oraz naukowo-dydaktyczni Politechniki Wrocławskiej definiują czujnik jako element sieci bezprzewodowej służący do pomiaru wielkości fizycznych takich, jak temperatura, wilgotność, poziom wibracji mechanicznych (wstrząsów), dźwięk, obraz (w świetle widzialnym i niewidzialnym). Mierzone wielkości są przekazywane do stacji bazowej w celu dalszego przetworzenia i/lub transmisji na dalsze odległości.

Po przeprowadzeniu analizy pojęć związanych z pojęciem sensor - czujnik możemy stwierdzić, że czujnik to urządzenie pomiarowe będące elementem składowym większego układu – sensora. Sensory służą do pobierania danych, przetwarzania ich i przesyłania dalej. Do realizacji powyższych funkcji sensor jest wyposażony w następujące elementy składowe:

- MEMS (Micro - Elektro - Mechanical Systems) – służący do przeprowadzania pomiarów [zestaw (zestawy) - czujników pomiarowych];
- moduł przetwarzania (mikroprocesor) – odpowiedzialny za przetwarzanie danych;
- moduł komunikacji (niewielkie, energooszczędne radio – wykorzystywane do przesyłania radiowego - w przypadku sensorów bezprzewodowych);
- elementy zasilania.

Ogólnie rzecz ujmując, sensor to mały komputer, bardzo podstawowy w zakresie jego wykorzystania, wyposażony w interfejsy. Zwykle składa się z *jednostki przetwarzającej* o ograniczonej mocy obliczeniowej i ograniczonej pamięci, *czujników* (w tym określone układy klimatyzacji), *urządzenia komunikacji* (zazwyczaj nadajniki radiowe lub alternatywnie optyczne) i *źródła zasilania* zwykle w postaci baterii.

Przy tak określonych elementach składowych sensora, uproszczony schemat blokowy typowego sensora przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Uproszczony schemat blokowy sensora

Źródło: H. Łukasiewicz, *Założenia taktyczno-techniczne wieloczujnikowych sensorów do ochrony obiektów i wojsk własnych*, PNB, WSOWL, Wrocław 2010

Wariant rozwiązania konstrukcyjnego typowego sensora do zastosowań wojskowych przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Budowa sensora do zastosowań wojskowych

Źródło: H. Łukasiewicz, Założenia taktyczno-techniczne wieloczujnikowych sensorów do ochrony obiektów i wojsk własnych, PNB, WSOWL, Wrocław 2010

Przyjmując jako kryterium klasyfikacji sensorów - stopień zaangażowania w obsługę sensorów, możemy wyróżnić:

- sensory nadzorowane;
- sensory nienadzorowane.

Natomiast ze względu na użyte medium transmisyjne wyróżniamy:

- sensory przewodowe;
- sensory bezprzewodowe.

Sensory nadzorowane są ciągle obsługiwane, mają zapewnione ciągłe zasilanie i są zazwyczaj dołączane elektrycznie do sieci transmisji danych. Sensory nadzorowane są stosowane zazwyczaj w technice alarmowej do ochrony obiektów, zdalnego wykrywania substancji niebezpiecznych, dla potrzeb sił zbrojnych mogą być wykorzystywane do ochrony obiektów w miejscu stałej dyslokacji.

Sensory nienadzorowane (nieobsługiwane) pracują samodzielnie bez obsługi, posiadają zasilanie bateryjne. Zazwyczaj sensory nienadzorowane łączy się w sieć poprzez wbudowane układy nadawczo-odbiorcze, pokrywając swym działaniem obszary do kilku kilometrów kwadratowych.

Sensory przewodowe posiadają szeroką gamę rozwiązań i zastosowań przemysłowych w różnych dziedzinach np. do pomiaru temperatury elementów maszyn i urządzeń, systemów alarmowych, myszki komputerowe, sterowanie centralnym zamkiem w samochodzie, czujniki cofania itp. rozwiązania. Jako medium transmisyjne, czujniki te wykorzystują wszelkiego rodzaju kable. Czujniki przewodowe ze względu na wymogi w zakresie sposobu zasilania, przekazywania danych (połączenia kablowego czujnika z urządzeniem sterowania bądź zobrazowania) oraz instalacji i współpracy z siecią, mogą być wykorzystywane do ochrony obiektów, natomiast nie nadają się do wykorzystania w głębi ugrupowania przeciwnika oraz w terenie trudno dostępnym.

Sensory bezprzewodowe są to głęboko wysunięte w obszar działań elementy polowych sieci komputerowych. Służą do wykrycia, zmierzenia i przetworzenia obserwowanego przez nie zjawiska lub wielkości fizycznej na sygnały radiowe i wysyłają je do współpracujących z nimi urządzeń. Sensory mogą pracować pojedynczo lub są rozmieszczane w dużych ilościach na monitorowanym przez nie obszarze, tworząc w ten sposób **Sieć Sensorów Bezprzewodowych (SSB)** komunikujących się automatycznie między sobą oraz z węzłami zbierania informacji z sieci.

W stosunku do sieci sensorów bezprzewodowych stawiane są bardzo wysokie wymagania, których spełnienie nie zawsze jest możliwe przy obecnym poziomie technologii. Najistotniejsze wymagania stawiane sieci sensorów bezprzewodowych przedstawiono poniżej⁶:

- możliwie najwyższa niezawodność działania;
- niska cena;
- małe wymiary i ciężar;
- uproszczona logistyka instalowania i współpracy z siecią;
- niskie koszty eksploatacji;
- wysoka jakość uzyskiwanych informacji;
- dostarczanie możliwie dokładnych obrazów z obserwowanych obszarów;
- minimalny pobór mocy;
- praca w każdym terenie;
- odporność na wpływy otoczenia;
- zabezpieczenie przed wrogim namierzeniem i przechwyceniem sensorów oraz podsłuchem radiowym;
- odporność na obecność wrogich sensorów w obszarze działania sieci;
- odporność na podszywanie się wrogich sensorów do pracującej sieci;
- odporność na zakłócenia elektromagnetyczne;
- odporność na uszkodzenia pojedynczego sensora w pracującej sieci;
- łatwość instalacji przez niewykwalifikowanych żołnierzy;
- działanie w systemach zarządzanych i niez zarządzanych;
- samokonfigurowalność sieci;
- automatyczna lokalizacja sensorów w sieci.

Do zastosowań wojskowych nie będzie wykorzystywany pojedynczy sensor, lecz większa liczba sensorów tworząca **Sieć Sensorów Bezprzewodowych (SSB)**.

Sensory bezprzewodowe oraz sieci sensorów bezprzewodowych należą do najszybciej rozwijających się technologii telekomunikacyjnych w ciągu ostatnich 10 lat. Zostały zakwalifikowane jako jedne z najbardziej obiecujących technologii początku XXI wieku.

⁶ M. Dras, *Sensory i sieci bezprzewodowych sensorów*, Sympozjum nt. „Organa kierowania polowym węzłem łączności stanowiska dowodzenia BZ/BPanc i ich dokumentacja, Radiotechnika Marketing Sp. z o.o., Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych, Wrocław 15.05.2008 r.

W USA najnowsze osiągnięcia techniczne w dziedzinie sensorów są pozyskiwane do zastosowań wojskowych, poprzez organizowanie i sponsorowanie przez wojskową rządową agencję DARPA uniwersyteckich programów badawczych. Z tych programów wybierane są najlepsze rozwiązania, które następnie kierowane są do dalszych prac wdrożeniowych o ściśle wojskowym przeznaczeniu w wybranych firmach sektora wojskowego. Dzięki temu zaawansowane technologie cywilne są optymalnie adaptowane do celów wojskowych, proces ten jest wieloetapowy i pozwala na pełniejsze spełnienie wymagań wojskowych. Patrząc historycznie, po raz pierwszy sensory bezprzewodowe zaczęły stosować Stany Zjednoczone w czasie wojny wietnamskiej. Zadaniem tamtych sensorów było wykrycie ruchu pojazdów zaopatrujących Viet Cong, w dżungli, na tzw. szlaku Ho Chi Minha. Tego ruchu nie można było wykryć z samolotów, stąd powstał pomysł zastosowania sensorów komunikujących się z patrolującymi obszar samolotami. Działania tych pierwszych sensorów nie były doskonałe, wpływ roślinności i innych elementów otoczenia powodował często fałszywe alarmy, dlatego podchodzono do danych z sensorów z dużą rezerwą. W następnych latach zaczęto udoskonalać budowę sensorów, czyniąc z nich coraz lepszy element rozpoznania przeciwnika na polu walki. Obecnie sensory są stosowane we wszystkich rodzajach wojsk. Każdy rodzaj wojsk używa innego rodzaju specjalistycznych sensorów. Łączenie sensorów działających na różnych platformach na rozległych obszarach i zbiorcze wykorzystywanie uzyskanych z nich informacji stanowią jeden z celów działań sieciocentrycznych.

1.1. Czujnik pomiarowy

Sensory wykrywają, mierzą wiele wielkości fizycznych (w zależności od rodzaju zainstalowanego czujnika pomiarowego) lub reagują na te, na które zostały przygotowane. Są to przykładowo: temperatura, wilgotność, drgania obiektów lub gruntu, ruch obiektów, detekcja gazów, np. tlenu, dwutlenku węgla (oddech ludzi), przekroczenie bariery optycznej lub ultradźwiękowej, głos, kierunek głosu, pole magnetyczne, obecność obiektów i przedmiotów metalowych, optyczny obraz obiektów, promieniowanie podczerwone i laserowe, wykrycie ruchu obiektów przez różnicę obrazów. Wielkości fizyczne mierzone przez sensory przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wielkości fizyczne mierzone przez sensory (czujniki pomiarowe)

Parametr	Zmienna mierzona	Sposób pomiaru
Właściwości fizyczne	Ciśnienie	piezoresystancyjny, pojemnościowy
	Temperatura	termistor, termo-mechaniczny, termoelement
	Wilgotność	rezystancyjny, pojemnościowy
	Przepływ	zmiana ciśnienia, termistor
Właściwości związane z ruchem	Pozycja	elektromagnetyczny, GPS, czujnik kontaktu
	Prędkość	efekt Dopplera, efekt Halla, optoelektroniczny
	Prędkość kątowna	kodowanie optyczne
	Przyspieszenie	piezoresystancyjny, pizoelektryczny, światłowodowy
Właściwości związane z kontaktem	Napężenie	piezorezystancyjny
	Siła	piezoelektryczny, piezorezystancyjny
	Moment obrotowy	piezorezystancyjny, optoelektroniczny

Parametr	Zmienna mierzona	Sposób pomiaru
	Poślizg	podwójny moment obrotowy
	Wibracje	piezoelektryczny, piezorezystancyjny, światłowodowy, dźwięk, ultradźwięk
Właściwości związane z obecnością	Dotyk	przełącznik dotykowy, pojemnościowy
	Bliskość	efekt Halla, pojemnościowy, magnetyczny, sejsmiczny, akustyczny, RF
	Odległość	elektromagnetyczny (sonar, radar), magnetyczny, tunelowanie
	Ruch	elektromagnetyczny, IR, akustyczny, sejsmiczny (wibracje)
Właściwości biochemiczne	Czynniki biochemiczne	transdukcja biochemiczna
Właściwości związane z identyfikacją	Cechy osobowe	Obraz (wizja)
	Identyfikator osobowy (ID)	odciski linii papilarnych, skanowanie siatkówki oka, głos, ciepło, analiza ruchu

*Źródło: [online] [dostęp: 10.01.2011]. Dostępny w Internecie:
http://www.nanotechnologia.republika.pl/wireless_network.pdf.*

Ze względu na sposób pomiaru (rodzaj zastosowanego czujnika) wyszczególnia się następujące grupy sensorów:

- a) sensory mechaniczne:
 - tunneling sensing (zależności natężeń tunelowych);
 - pojemność sensora (różnice pojemności);
 - wykorzystujące efekt piezorezystorowy (zmiana rezystancji poprzez zmianę obciążenia);
 - wykorzystujące efekt piezoelektryczny (zmiana różnicy potencjałów poprzez siłę i na odwrót);
- b) sensory magnetyczne i elektromagnetyczne:
 - wykorzystujące efekt Halla (wydzielanie pola elektromagnetycznego);
 - wykorzystujące efekt magnetorezystorowy (przewodnictwo magnetycznie zmienia gęstość);
- c) sensory termiczne:
 - przetworniki termiczno-mechaniczne (zmiany temperaturowe w materiałach);
 - termoszczepialne (wykorzystujące efekt Seebecka, gdzie napięcie wyrażone jest za pomocą zmiany temperatur);
 - dużych temperatur (polegają na wykorzystaniu właściwości pojedynczych kryształków SiO₂, których temperatura zależy od częstotliwości);
- d) sensory optyczne - wykorzystują efekt fotoelektryczny, natężenie światła itp.;
- e) sensory chemiczne i biologiczne:
 - chemiosensory (wykorzystanie reakcji chemicznych, stężeń pierwiastków, substancji, etc.);
 - biosensory (podobnie jak chemiosensory).

Ponadto wykorzystuje się następujące efekty fizyczne do pomiarów świata rzeczywistego:

- widmo elektromagnetyczne;
- fale akustyczne (sensory akustyczne).

1.2. Przetwornik

Dokonujący się w ostatnich latach gwałtowny postęp technologiczny znalazł swoje odbicie w metrologii, a pośrednio w technice sensorowej. W metrologii, podobnie jak w wielu innych dziedzinach, dokonuje się rewolucyjny rozwój, szczególnie w precyzji, szybkości oraz automatyzacji procesu pomiarowego. Obecnie niemal wszystkie wielkości fizyczne są mierzone (bądź monitorowane) poprzez ich konwersję na takie wielkości elektryczne, jak: napięcie, natężenie prądu, częstotliwość/okres przebiegu napięcia/natężenia prądu. Konwersji dokonuje się przy pomocy przetworników i odpowiednich układów elektronicznych. Sygnał przetwornika jest, poprzez odpowiedni układ elektroniczny, zamieniany na sygnał elektryczny (zwykle napięcie) nadający się do zapisu wizualizacji lub innego wykorzystania.

Dokonujący się w ostatnich latach gwałtowny postęp w komunikacyjnych technologiach bezprzewodowych znalazł też swoje odbicie w technice sensorowej. Znacznie wzrosły techniczne możliwości komunikacji i przesyłania danych z/do sensorów oraz między nimi. Postęp technologiczny w budowie przetworników wielkości fizycznych takich, jak dźwięk, ruch, wibracje czy obraz pozwolił na miniaturyzację oraz odporność sensorów na wpływ warunków otoczenia.

Sensory budowane są w technologii typu COTS⁷ (ang. *Commercial Off – The Shelf* - prosto z półki), przeniesionej z zastosowań cywilnych i przemysłowych do zastosowań wojskowych. Taki program sprzedawany jest klientowi bez żadnego dostosowywania do jego potrzeb, dzięki czemu jest on tańszy od rozwiązań dostosowywanych funkcjonalnością do wymagań klienta.

Technologie mechatroniczne **MEMS** (ang. *Micro Elektro - Mechanical Systems*)⁸ pozwalają na wykonanie w krzemie lub szkle, przy użyciu technik mikroobróbki, zintegrowanych układów elektromechanicznych, których co najmniej jeden wymiar szczególnie znajduje się w skali mikro (0,1 - 100 μm). Działają jako sensory ciśnienia, przyspieszenia lub innej wielkości fizycznej, będąc jednocześnie częścią układu scalonego (sensor na chipie).

Zastosowania mikrosystemów:

a) czujniki:

- przyspieszenia (akcelerometry):
 - w samochodach – wykrywanie momentu wypadku (uruchomienie poduszek powietrznych, napinaczy pasów itp.);
 - w aparatach fotograficznych – wykrywanie drgań (stabilizacja obrazu);

⁷ COTS (ang. *Commercial Off – The Shelf* - prosto z półki) - określenie dla wersji programu komercyjnego, seryjnie produkowanego lub gotowego do sprzedaży. [online] [dostęp: 10.01.2011]. Dostępny w Internecie: <http://pl.wikipedia.org/wiki/COTS>.

⁸ [online] [dostęp: 10.01.2011]. Dostępny w Internecie: http://pl.wikipedia.org/wiki/Micro_Electro-Mechanical_Systems.

- w komputerach – wykrywanie swobodnego spadania (zabezpieczenie dysku twardego przed uszkodzeniem w momencie upadku);
- w nowoczesnych zabawkach;
- ciśnienia:
 - reaktory chemiczne;
 - zbiorniki substancji
- wibracji;
- przepływomierze;
- żyroskopy:
 - pola magnetycznego (wykorzystujące efekt Halla);
 - przełączniki optyczne;
 - rzutniki;
 - głowice drukarek atramentowych;
 - elektrody do badania mózgu;
 - endoskopia;
 - zegary atomowe;
 - mikroreaktory chemiczne (Lab-On-Chip).

CMOS (ang. *Complementary MOS*)⁹ – technologia wytwarzania układów scalonych, głównie cyfrowych, składających się z tranzystorów MOS o przeciwnym typie przewodnictwa i połączonych w taki sposób, że w ustalonym stanie logicznym przewodzi tylko jeden z nich. Dzięki temu układ statycznie nie pobiera żadnej mocy (pomijając niewielki prąd wyłączenia tranzystora), a prąd ze źródła zasilania płynie tylko w momencie przełączania – gdy przez chwilę przewodzą jednocześnie oba tranzystory. Znikomy pobór mocy układów CMOS przy małych częstotliwościach przełączania stanowił atut zwłaszcza w układach zegarów przemysłowych oraz wszędzie tam, gdzie czas pracy z baterii był istotniejszy niż szybkość działania. Z czasem poprawiono także parametry dynamiczne i po 25 latach układy CMOS zdominowały elektronikę cyfrową.

Technologie mechatroniczne MEMS, czy kamery wizyjne typu CMOS pozwoliły na miniaturyzację sensorów i zmniejszenie ich zapotrzebowania na moc zasilania. Przetworniki wibracji i drgań oparte o technologie MEMS pozwalają na równoczesne wytwarzanie całych sensorów wraz z przetwornikami w jednym kryształku krzemowym, który wraz z dołączoną baterią stanowi gotowy do zainstalowania i pracy sensor. Sensory do zastosowań wojskowych opierają się na rozwiązaniach przemysłowych, jednakże technologie ich budowy, konieczność uzyskania wysokich parametrów w zakresie wykrywania obserwowanych zjawisk, uzyskiwanie dużych zasięgów transmisji bezprzewodowej, aspekty bezpieczeństwa elektromagnetycznego i informatycznego, konieczność długotrwałej pracy z baterii zasilającej oraz wytrzymałość mechaniczna odróżniają je od ich prekursorów.

1.3. Moduł komunikacji

Bardzo ważnym zagadnieniem dotyczącym komunikacji w sieci sensorów nie-nadzorowanych (bezobsługowych), oprócz zasilania, jest sposób przesyłania informacji pomiędzy poszczególnymi sensorami wchodzącymi w skład sieci. Nowoczesne systemy

⁹ [online] [dostęp: 12.01.2011]. Dostępny w Internecie: <http://pl.wikipedia.org/wiki/CMOS>.

komunikacji bezprzewodowej (radiowej) powinny charakteryzować się, między innymi, następującymi cechami¹⁰:

- niezawodność;
- praca w ruchu;
- bezpieczeństwo transmisji (znacznie utrudniona możliwość wykrycia transmisji, jej podsłuchu lub nieuprawnionej modyfikacji);
- znaczna odporność na zakłócenia elektromagnetyczne i związane z wielodroźną propagacją;
- łatwość instalacji i obsługi;
- mały pobór energii (związany z ograniczeniami dotyczącymi gabarytów baterii);
- uniwersalne złącza do podłączania różnego rodzaju źródeł informacji;
- możliwość równoczesnego gromadzenia różnorodnego typu informacji (analogowych i w postaci cyfrowej) z wielu źródeł i przesyłanie (po ich przetworzeniu) do wielu punktów przeznaczenia.

Każda sieć służąca do przesyłania informacji (i nie tylko) składa się z węzłów (wierzchołków), które połączone są ze sobą w określony sposób (mogą to być krawędzie skierowane lub też nie, jednak w pracy ich rodzaj nie jest istotny i określono je ogólnie jako połączenia wierzchołków). Każdy węzeł można interpretować (dla łatwiejszego odbioru) jako jednostkę o określonej mocy obliczeniowej, zdolną do transmisji i odbierania wiadomości (danych) do innych wierzchołków (np. jako komputer). Węzły mogą być połączone poprzez kable lub drogą bezprzewodową.

W przypadku zastosowań sieci sensorów dla celów militarnych, połączenie kablowe pomiędzy węzłami w sieci nie będzie stosowane (bądź w małym wymiarze). Bardzo istotnym zagadnieniem jest natomiast sposób komunikowania się poszczególnych węzłów w sieci bezprzewodowej, tzn. w jakiej hierarchii ułożone są względem siebie wierzchołki.

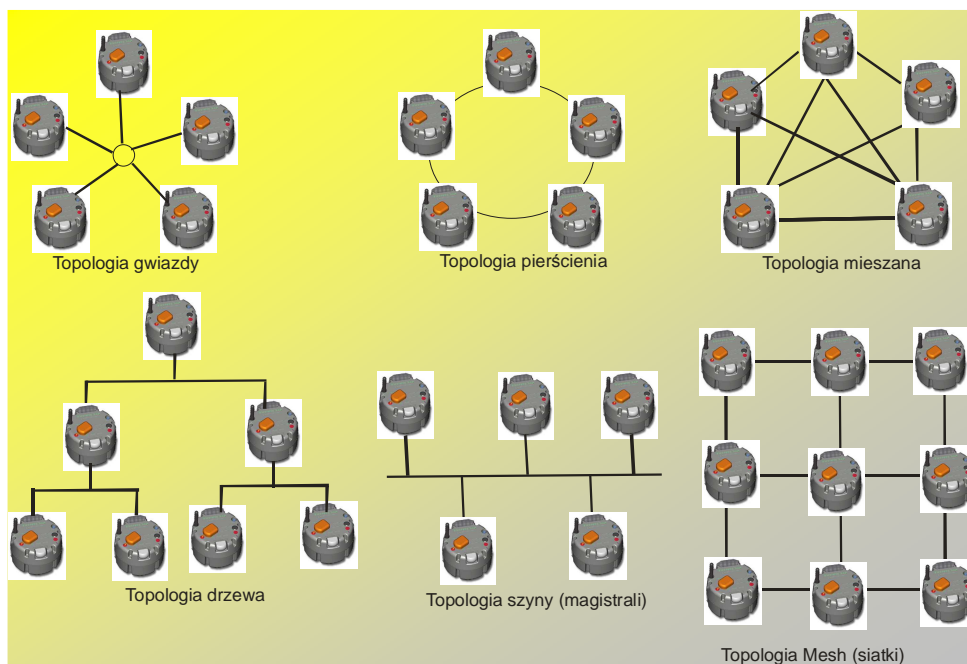
Zgodnie z dostępnymi publikacjami, możemy wyszczególnić następujące topologie sieci sensorów bezprzewodowych¹¹:

- topologia gwiazdy;
- topologia pierścienia;
- topologia szyny;
- topologia drzewa;
- topologia siatki (Mesh);
- topologia mieszana.

Podstawowe topologie sieciowe przedstawiono na rysunku 3.

¹⁰ Materiały udostępnione przez Konsorcjum Naukowo - Przemysłowe Politechniki Wrocławskiej Wydział Elektroniki i Radiotechniki Marketing Sp. z o.o., „Zintegrowane systemy wieloczuJNIKOWYCH sensorów bezprzewodowych i ich sieci do aktywnej ochrony obiektów i wojsk własnych”.

¹¹ [online] [dostęp: 11.01.2011]. Dostępny w Internecie: http://www.nanotechnologia.republika.pl/wireless_network.pdf.



Rys. 3. Podstawowe topologie sieciowe

Źródło: [online] [dostęp: 11.01.2011]. Dostępny w Internecie:
http://www.nanotechnologia.republika.pl/wireless_network.pdf.

Oczywiście wybór odpowiedniej hierarchii pociąga za sobą różne konsekwencje, głównie związane ze złożonością połączeń, czasem przesyłania oraz niezawodnością sieci.

Topologia gwiazdy (*star topology*) polega na połączeniu wierzchołków poprzez jeden węzeł główny (zwany *hubem*). Hub potrzebuje dodatkowych funkcji, większej mocy przesyłowej oraz zdolności podejmowania decyzji (odpowiedni routing). Wadą tej hierarchii jest niestety możliwość uszkodzenia węzła głównego, co prowadzi do zniszczenia całej sieci.

Topologia pierścienia (*ring topology*) jest strukturą pozbawioną lidera. Wiadomości krążą pomiędzy węzłami (w jednym kierunku po torze kolistym). Przecięcie pierścienia powoduje utratę komunikacji między wierzchołkami, dlatego też często tworzony jest dodatkowy pierścień (wówczas strukturę nazywa się **samonaprawialnym pierścieniem**).

Topologia szyny (*bus topology*) polega na tym, iż wiadomość porusza się wzdłuż węzłów, natomiast każdy wierzchołek sprawdza adres (miejsce przeznaczenia) wiadomości i w przypadku potwierdzenia – odbiera informacje. Wadą tego sposobu komunikacji jest niemożność retransmisji wiadomości (węzły mogą jedynie przyjmować).

Topologia drzewa (*cluster tree*) przypomina topologię rozszerzonej gwiazdy. Główną różnicą jest to, że jest utworzona z wielu magistrali połączonych łańcuchowo. Używany jest tu węzeł podstawowy, z którego rozchodzą się kolejne węzły. Istnieją dwa rodzaje tej topologii: drzewo binarne (każdy węzeł ma dwa połączenia) oraz drze-

wo szkieletowe (węzły rozchodzą się od pnia szkieletu). Pień to przewód składający się z kilku warstw rozgałęzień. Przepływ informacji jest hierarchiczny.

Topologia mieszana (*fully connected topology*) jest w zasadzie niezawodna, jednak dodanie kolejnych węzłów powoduje zwiększenie ilości połączeń w sposób wykładniczy. Prowadzi to do licznych problemów routingu, tzn. odpowiedniego skierowania wiadomości w sieci. Powyższa struktura często nazywana jest siecią sensorów typu „ad - hoc”.

Topologia siatki (zwana też kratową, *ang. mesh topology*) jest regularnie rozłożoną siecią, która umożliwia transmisję wyłącznie do najbliższego węzła (sąsiada). Zazwyczaj wierzchołki są do siebie zbliżone pod względem wykonywanych funkcji (np. sieć komputerowa), więc często kojarzy się tę strukturę z sieciami rodzaju peer - to - peer (P2P). Hierarchia siatkowa może być dobrym modelem do wielkoskalowych sieci bezprzewodowych sensorów rozłożonych np. na jakimś obszarze. Zaletą tego modelu może być wprowadzenie „liderów”, węzłów bazowych wyposażonych w dodatkowe funkcje (w sytuacji, gdy lider ulegnie uszkodzeniu, to inne wierzchołki mogą przejąć jego rolę, czyli rośnie niezawodność). Ponadto istnieje wiele dróg transmisji danych oraz tworzenie połączeń nie przebiega w sposób wykładniczy (tzn. nowych połączeń jest co najwyżej 4). Można uznać, że struktura siatki (z wyszczególnionymi liderami oraz jednokierunkowymi połączeniami) jest najlepszą strukturą dla sieci bezprzewodowych.

Bardzo ważnym zagadnieniem występującym w SSB jest sposób przesyłania informacji. Głównym elementem każdej wiadomości jest jej nagłówek (*header*), który składa się m.in. z:

- adresu docelowego;
- adresu źródłowego;
- pola danych;
- innych informacji (np. nagłówek protokołu).

Nagłówek służy węzłom do odpowiedniego przesyłania wiadomości. Bez niego wiadomość nigdy nie dotarłaby do wierzchołka docelowego oraz nigdy nie mogłaby być odesłana z powrotem.

Istotnym zagadnieniem w przesyłaniu danych w sieci, oprócz ww. czynników, jest **routing**. Polega on na odpowiednim wyborze ścieżek od węzła źródłowego do docelowego (przesyłanie musi przebiegać w skończonym czasie). Istnieje wiele metod routingu, ale najważniejszy jest wybór takiej metody, która pozwala wybrać najkrótszą (tzn. najszybszą) ścieżkę (np. algorytm Dijkstra) oraz żeby nie występowało zjawisko *deadlock* (wszystkie wierzchołki są zajęte i wiadomość wpada w cykl, z którego już nie wychodzi) i *livelock* (wiadomość jest odsyłana od wierzchołka do wierzchołka i nigdy nie dochodzi do węzła docelowego). Ponadto niezbędna jest odpowiednia kontrola przepływów (przepustowości).

Komunikacja sensorów w ww. topologiach odbywa się zgodnie z protokołem transmisji danych sieci bezprzewodowej w oparciu o standard IEEE 802.11. lub standard IEEE 802.15.4. Ponieważ komunikacja sensorów w sieciach bezprzewodowych wykorzystuje ogólnie dostępne standardy, w sposób skrótowy zostaną przybliżone pod-

stawowe określenia i zasady transmisji w sieciach bezprzewodowych. Szczegółowe dane dotyczące ww. standardów czytelnik może znaleźć w ogólnodostępnej literaturze specjalistycznej dotyczącej transmisji w sieciach bezprzewodowych.

Standard IEEE 802.11 – specyfikacja opracowana przez Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) na potrzeby sieci bezprzewodowych. IEEE 802.11 określa sposób wzajemnej komunikacji urządzeń bezprzewodowych.

Odmiany standardu IEEE 802.11:

- IEEE 802.11: specyfikacja opracowana przez Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) na potrzeby sieci bezprzewodowych. IEEE 802.11 określa sposób wzajemnej komunikacji urządzeń bezprzewodowych;
- 802.11a – szybkość transmisji 54 Mb/s, częstotliwość 5 GHz;
- 802.11b – szybkość transmisji 11 Mb/s, częstotliwość 2,4 GHz posiada zasięg ok. 30m w pomieszczeniu i 120m w otwartej przestrzeni; w praktyce można osiągnąć transfery rzędu 5,5 Mb/s. Materiały takie jak woda, metal, czy beton obniżają znacznie jakość sygnału; standard 802.11b podzielony jest na 14 kanałów o szerokości 22 MHz które częściowo się pokrywają, Polska wykorzystuje tylko pasma od 2400 do 2483,5 MHz – kanał od 1 do 13;
- 802.11g – szybkość transmisji 54 Mb/s, częstotliwość 2,4 GHz, obecnie najpopularniejszy standard Wi - Fi, który powstał w czerwcu 2003 roku, w praktyce osiągalne są transfery do 20-22 Mbit/s przy transmisji w jedną stronę, wykorzystanie starszych urządzeń w tym standardzie powoduje zmniejszenie prędkości do 11 Mb/s, jest bardziej podatna na zakłócanie i wymaga silniejszego i stabilniejszego sygnału niż 802.11b;
- 802.11n – szybkość transmisji 600 Mb/s, częstotliwość 2,4 GHz, standard, który został wprowadzony na rynek w 2007 roku jako „draft”, choć urządzenia "pre - N" pojawiały się już od 2002 roku. W dniu 4.09.2009 ”draft – N” został ratyfikowany jako standard, w praktyce osiągalne są transfery rzędu 100 Mbit/s w jedną stronę, jednak wymaga on bardzo silnego i stabilnego sygnału do działania;

oraz:

- 802.11c;
- 802.11d;
- 802.11e;
- 802.11f;
- 802.11h (w Europie odpowiednikiem jest 802.11a na częstotliwości 5 GHz);
- 802.11i (w tym systemie wprowadzono nowe zabezpieczenia za pomocą szyfrowania);
- 802.11j (powstał ze standardu 802.11a na potrzeby Japonii);
- 802.11r (dość szybki roaming).

Aktualnie urządzenia 802.11 mimo tego, że są stosunkowo tanie w sieci sensorów bezprzewodowych, są praktycznie niespotykane w zastosowaniach wojskowych, wynika to zapewne z bardzo małych maksymalnych prędkości transmisji.

Powszechnie stosowanym standardem sieci bezprzewodowych jest standard **IEEE 802.15.4** zapewniający transmisję bezprzewodową w pasmach 868 MHz, 915 MHz lub 2,4 GHz. Metoda dostępu do medium to CSMA/CA¹², modulacja dla 868/915 MHz to BPSK¹³, a dla 2,4 GHz to O - QPSK¹⁴. W paśmie 2,4 GHz przewidziano 16 kanałów szerokości 5MHz, w zakresie 868 i 915 MHz czas pracy jest nieznacznie dłuższy niż w zakresie 2,4 GHz.

Ze względu na stosunkowo duże koszty, konieczność uzyskiwania najbardziej zaawansowanych rozwiązań i kompatybilność z różnymi platformami informatycznymi, w SSB stosowane są wyłącznie powszechne standardy transmisji bezprzewodowych przedstawione w tabeli 2.

Tabela 2. Standardy transmisji bezprzewodowych stosowane w SSB

Lp	Standard	Częstotliwość
1.	Bluetooth IEEE 802.15.1	Pasmo 2.4 GHz, 915 MHz
2.	ZigBee IEEE 802.15.4	Pasmo 2.4 GHz, 915 MHz
3.	Chirp IEEE 802.15.4a	Pasmo 2.4 GHz
4.	Wi-Fi IEEE 802.11.a,b,g	Pasmo 2.4 GHz, 5,4 GHz

Źródło: M. Dras, Sensory i sieci bezprzewodowych sensorów, Radiotechnika Marketing Sp. z o.o., Sympozjum nt. „Organa kierowania polowym węzłem łączności stanowiska dowodzenia BZ/BPanc i ich dokumentacja, Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych, Wrocław 15.05.2008 r.

W ramach jednej sieci SSB równocześnie stosowanych może być kilka standardów w zależności od szybkości i zasięgu transmisji.

1.4. Bateria zasilająca

Aby sensor był w pełni bezprzewodowy, konieczna jest eliminacja nie tylko kabla sygnałowego, ale i zasilającego. Z tego powodu większość sensorów będzie zasilana bateryjnie, co implikuje konieczność oszczędnego korzystania z baterii. Jednym ze sposobów na oszczędne gospodarowanie zasilaniem jest m.in.:

- zmniejszenie czasu, w jakim urządzenie pobiera energię. Jeśli na obszarze monitorowanym przez sensory czujnik nie wykrywa żadnych zmian, to nie występuje potrzeba przesyłania wyników pomiarów, w takim przypadku sensor powinien znajdować się w trybie uśpienia. Przejście z trybu uśpienia do trybu czuwania (transmisji) musi być bardzo szybkie, rzędu kilku milisekund;

¹² CSMA/CA (ang. Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) protokół wielodostępu do łącza ze śledzeniem stanu nośnika i unikaniem kolizji. [online] [dostęp: 12.01.2011]. Dostępny w Internecie: <http://pl.wikipedia.org/wiki/CSMA/CA>.

¹³ BPSK (ang. Binary Phase Shift Keying) to najprostsza forma modulacji PSK, w której faza może przyjmować jedną z dwóch wartości przesuniętych względem siebie o 180° reprezentując logiczne "0" lub "1". [online] [dostęp: 10.01.2011]. Dostępny w Internecie: <http://pl.wikipedia.org/wiki/BPSK>.

¹⁴ QPSK (ang. Offset Quadrature Phase Shift Keying) – odmiana modulacji PSK. [online] [dostęp: 9.01.2011]. Dostępny w Internecie: <http://pl.wikipedia.org/wiki/O-QPSK>.

- sposób projektowania całego systemu, użycie dedykowanego układu scalonego i dobór pozostałych komponentów systemu. Użycie sygnału chirp, asynchroniczna praca (niewymagająca energii na synchronizację), niezawodna komunikacja (minimalna liczba powtórzonych transmisji).

Wewnętrzna bateria sensora i układ zasilania muszą zapewnić możliwie jak najdłuższe zasilanie. Źródłem zasilania wewnętrznego sensora może być bateria jednorazowego użytku, akumulatory wielokrotnego ładowania, dodatkowy układ superkondensatora zapewniający szybkie naładowanie ze źródła zewnętrznego. Źródłem zasilania zewnętrznego sensora w warunkach polowych może być bateria ogniw słonecznych dołączanych poprzez kabel i złącze. Tą drogą możliwe jest doładowanie akumulatorów i superkondensatorów. Możliwe jest też ładowanie akumulatorów z prostownika w warunkach serwisowo-warsztatowych. Wymagane jest zarządzanie układem zasilania i zdalny monitoring stanu układu zasilania.

1.5. Elementy dodatkowe

Sensory do zastosowań wojskowych opierają się na rozwiązaniach przemysłowych, jednakże technologie ich budowy muszą zapewnić uzyskanie wysokich parametrów w zakresie wykrywania obserwowanych zjawisk, uzyskiwanie dużych zasięgów transmisji bezprzewodowej, aspekty bezpieczeństwa elektromagnetycznego i informatycznego, konieczność długotrwałej pracy z baterii zasilającej oraz wytrzymałość mechaniczna odróżnia je od ich prekursorów. Aspekty bezpieczeństwa transmisji, komunikowanie się sensorów przez sieć globalną GPS stanowią znaczący wyróżnik między sensorami do zastosowań wojskowych a cywilnych. W związku z powyższym sensory do zastosowań wojskowych powinny być wyposażone w system GPS, układy zapewnienia bezpieczeństwa transmisji, niezawodność działania w różnych warunkach pogodowych i środowiskowych.

PODSUMOWANIE

Jednym z wyróżników działań sieciocentrycznych jest jednolity system zbierania, przesyłania i przetwarzania danych oraz ewidencja wyników pomiarów i przekazywanie ich w formie zakodowanej łączem kablowym lub radiowym do ośrodka, w którym dane te zostają automatycznie rozkodowane, zweryfikowane i zapamiętane w komputerowych bazach danych. Połączenie w sieć informacyjną sensorów oraz tworzonych na ich bazie sieci sensorów bezprzewodowych z decydentami oraz systemami walki pozwoli na uzyskanie przewagi informacyjnej na polu walki.

Koncepcja działań sieciocentrycznych oparta na integracji decydentów, sensorów i platform uzbrojenia, jest efektem rozwoju technologii mikroprocesorowych oraz technologii budowy urządzeń o minimalnym zużyciu energii. Postępująca miniaturyzacja spowodowała coraz szersze stosowanie sensorów oraz budowanych na ich bazie sieci sensorowych, złożonych z miniaturowych, komunikujących się ze sobą miniaturowych komputerów wyposażonych w interfejsy komunikacyjne i czujniki. Sensory wykorzystywane w przemyśle nie mogą być w sposób bezpośredni zaimplementowane do celów wojskowych, ponieważ muszą one spełniać szereg specyficznych wymagań np. konieczność uzyskania wysokich parametrów w zakresie wykrywania obserwowanych zjawisk, uzyskiwania dużych zasięgów transmisji, bezpieczeństwa elektromagnetycznego i informatycznego, konieczność długotrwałej pracy z baterii zasilającej oraz

wytrzymałości mechanicznej. Aspekty bezpieczeństwa transmisji oraz komunikowanie się sensorów przez sieć globalną GPS stanowią znaczący wyróżnik między sensorami do zastosowań wojskowych a sensorami do zastosowań cywilnych.

Sensory wykrywają, mierzą wiele wielkości fizycznych lub reagują na te, na które zostały przygotowane. W przypadku militarnego zastosowania sensory powinny być dostosowane pod względem budowy oraz rodzaju zastosowanego czujnika do pomiaru określonego zjawiska fizycznego (różnorodność budowy sensorów). Zastosowany system komunikacji bezprzewodowej powinien wykorzystywać standardy komunikacyjne, zapewniające szybką i bezpieczną transmisję. Do najczęściej stosowanych transmisji bezprzewodowych należy zaliczyć:

- ZigBee (IEEE 802.15.4/WPAN z rozproszeniem widma częstotliwości DSSS);
- Chirp (IEEE 802.15.4a z rozproszeniem widma częstotliwości DSSS).

Powyższe technologie oraz mechanizmy wykonawcze z wykorzystaniem technologii „chirp” oraz „ZigBee” powinny zapewnić wysoką niezawodność sieci, pracę w ruchu, bezpieczeństwo transmisji, dużą odporność na zakłócenia, łatwość instalacji i obsługi, mały pobór energii, podłączenie wielu rodzajów źródeł informacji w postaci cyfrowej lub analogowej, gromadzenie i przesyłanie informacji w różnych kierunkach.

LITERATURA

1. Adamczewski P., *Słownik informatyczny*, wyd. Helion, Warszawa 2005.
2. Dras M., *Sensory i sieci bezprzewodowych sensorów*, Radiotechnika Marketing Sp. z o.o., Sympozjum nt. „Organa kierowania polowym węzłem łączności stanowiąca dowodzenia BZ/BPanc i ich dokumentacja, Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych, Wrocław 15.05.2008 r.
3. Dowództwo Wojsk Lądowych, Pismo nr 16/fax/prace studyjne/racjonalizacja z dn. 10.10.2008 r.
4. Kręcikij J., *Działania sieciocentryczne. Wybrane problemy*, AON, Warszawa 2005 r.
5. Łukasiewicz H., *Założenia taktyczno-techniczne wieloczujnikowych sensorów do ochrony obiektów i wojsk własnych*, PNB, WSOWL, Wrocław 2010 r.
6. Materiały udostępnione przez Konsorcjum Naukowo - Przemysłowe Politechniki Wrocławskiej Wydział Elektroniki i Radiotechniki Marketing Sp. z o.o., „Zintegrowane systemy wieloczujnikowych sensorów bezprzewodowych i ich sieci do aktywnej ochrony obiektów i wojsk własnych”.

Strony internetowe:

1. <http://encyklopedia.interia.pl/haslo?hid=102487>.
2. http://www.nanotechnologia.republika.pl/wireless_network.pdf.
3. <http://pl.wikipedia.org/wiki/COTS>.
4. http://pl.wikipedia.org/wiki/Micro_Electro-Mechanical_Systems.
5. <http://pl.wikipedia.org/wiki/CSMA/CA>.
6. <http://pl.wikipedia.org/wiki/BPSK>.

7. <http://pl.wikipedia.org/wiki/O-QPSK>.
8. <http://pl.wikipedia.org/wiki/CMOS>.

DEVELOPMENT TRENDS AND OPPORTUNITIES TO USE SENSORS AND SENSOR NETWORKS FOR MILITARY PURPOSES

Summary

The use of sensors is the subject of research and heated discussions not only in our country. Through the creation of network centric warfare – NCW – the intensity of research about the use of sensors for military applications is on the increase. The use of sensors and sensor networks for the military forces must meet several requirements, which are not only related to their costs. These requirements are primarily associated with the reconnaissance possibilities of sensors, resistance to electromagnetic interference or with maintaining security of data transmissions. This publication is the first from the series of publications about sensors and sensor networks for military applications. Its purpose is to familiarise the reader with issues related to the construction of sensors as well as the physical quantities measured by them.

Key words: *sensors, sensor networks*

Artykuł recenzował: dr hab. inż. Janusz SZELKA, prof. nadzw. WSOWL