



Smart Sensors and Wireless Networks Inteligentní senzory a bezdrátové sítě

WOJCIASZYK, Petr

Ing.,  VŠB-TU Ostrava, FS, katedra ATR (352), 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba,
 petr.wojciaszyk.fs@vsb.cz

***Abstrakt:** příspěvek se zabývá inteligentní instrumentací. Nejdříve je proveden rozbor inteligentního (smart) senzoru, jeho vlastností, součástí a výhod. V další kapitole jsou popsány skupiny standardu IEEE 1451, který se zabývá vytvářením pravidel pro senzory a jejich zapojení do různých komunikačních sítí včetně bezdrátových. Jsou popsány i možnosti připojení senzorů do sítí a kombinace připojení senzorů s aktuátory.*

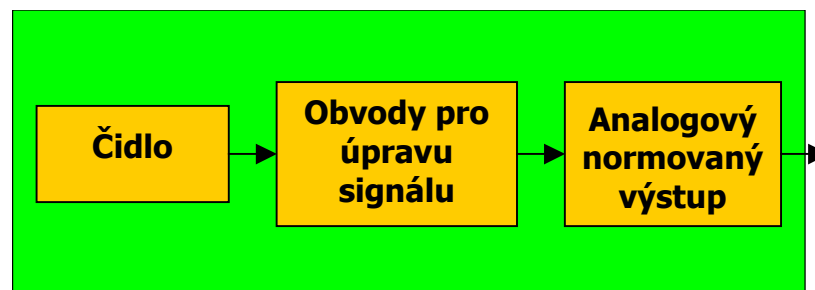
Uvedeným příkladem inteligentního senzoru (možného zapojit i jako subsystém) je teplotní senzor DS18B20 firmy Dallas pro síťovou sériovou sběrnici 1-Wire. Výhodou těchto prvků je možnost umístit jich na sběrnici větší množství.

Nakonec je představena bezdrátová technologie ZigBee, kterou lze použít na připojení senzorů a aktuátorů a nahradit propojení vodiči. ZigBee využívá bezlicenční přenosové frekvence a je směřována do malých zařízení s velmi nízkou spotřebou elektrické energie.

Klíčová slova: senzor, smart, 1-Wire, wireless, ZigBee

1 Inteligentní (SMART) senzor

Senzor je snímač, který přemění fyzický, biologický nebo chemický parametr na elektrický signál, např.: teplotní, tlakový atd. snímač. Citlivá část senzoru je označována jako čidlo.



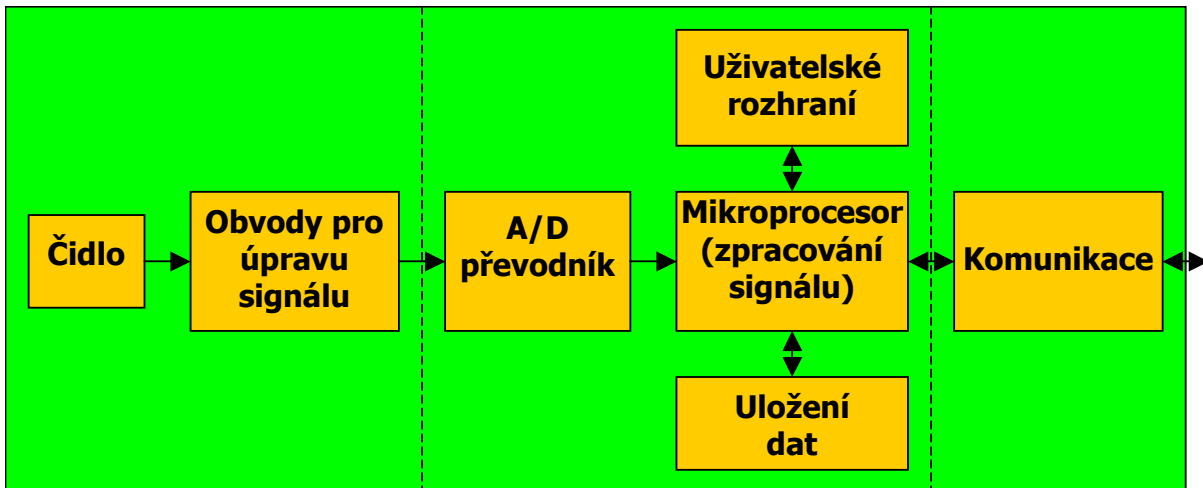
Obr 1.1 Základní blokové schéma senzoru

Inteligentní senzor v sobě zahrnuje čidlo měřené veličiny, obvody pro úpravu signálu (zesilovač, filtrace, atd.), A/D převodník, mikroprocesor pro zpracování a analýzu signálu (linearizace, charakteristiky čidla, uchování signálu) a obvody pro obousměrnou komunikaci s okolím.

Základní funkce inteligentního (SMART) senzoru lze charakterizovat takto:

- Měření vstupní(ch) veličin(y) - jejich analogové a číslicové zpracování (filtrace, kompenzace rušení, zesílení, přepočít, korekce na teplotu, atd.).

- Konfigurace svých parametrů - např. nastavení rozsahu, typ výstupního signálu, volba parametrů filtru, atd.
- Kontrola činnosti senzoru - autodiagnostika, tj. kontrola stavu svých funkčních bloků a zvláště vstupního převodníku,
- Komunikace – zajištění obousměrné komunikace prostřednictvím číslicové sběrnice s nadřazeným systémem.



Obr. 1.2 Základní blokové schéma inteligentního senzoru

Strukturu senzorů lze rozdělit na tři základní části:

- **Vstupní část** - zajišťuje vstup měřených veličin, jejich převod na elektrickou veličinu a tu převádí na vhodný, nejlépe normovaný elektrický signál a zajišťuje ochranu senzoru proti působení nežádoucích vstupních veličin či vlivů okolí. Je tvořena převodníky, membránami, zesilovači, stabilizátory aj. Jeden IS může obsahovat více čidel různých veličin - hlavní veličina tak může být korigována vzhledem k rušivým veličinám, např. teplotě. Může také zajišťovat přepínání více vstupních veličin, adresování v řadě, smyčce či poli měřených bodů.
- **Vnitřní část** - zpracovává vstupní signál, zajišťuje nastavení nulové hodnoty, kompenzaci vlivů okolí (např. teploty), linearizaci, autokalibraci měřicí funkce, autodiagnostické funkce. Je tvořena A/D a D/A převodníky, pamětmi, komparátory, generátory, mikroprocesory. U nejvyšších stupňů inteligentních senzorů se využívá prostředků umělé inteligence.
- **Výstupní část** - zajišťuje komunikaci senzoru s následnými zařízeními, signalizaci vlastní funkce a stavu, případně převod číslicového signálu na normalizovaný analogový výstupní signál, signalizaci měřené veličiny. Podle měřené veličiny rovněž může vydávat řídicí signál pro výkonová zařízení. Důležitým úkolem je ochrana před působením nežádoucích jevů na výstupu (zkraty, odpojení, přepětí aj.). Je tvořena obvody elektrických signálů, aktuátory aj.

Takovéto rozdělení senzoru je vhodné taky pro vytvoření tzv. modulárního senzoru, kde jednotlivé části lze složit do výsledného senzoru.

Inteligentní senzor má proti klasickým tyto zásadní výhody:

- Omezení a kompenzace rušivých vlivů pomocí digitálního přenosu informace.
- Dálková diagnostika senzorů pomocí obousměrné komunikace po sběrnících. Dálková diagnostika usnadňuje rozšíření IS na těžko přístupných místech.

- Možnost zapojení do sítě. Umožněním adresace senzorů lze jednotlivé senzory centrálně nastavovat a testovat.
- Možnost decentralizovaného zpracování naměřených hodnot. V rozsáhlých měřicích systémech dochází k výraznému snížení zátěže centrálního subsystému, uvolněný výkon centra lze využít na jiné účely.
- Kontrola integrity údajů (např. vyloučením z fyzikálního hlediska rozporných výsledků). K verifikaci dat se využívá informací z vestavěných testovacích senzorů.

Nevýhodou inteligentních senzorů je jejich cena, omezené použití v těžkých podmínkách (agresivní prostředí, vysoké teploty, magnetické pole...) a chybějící standardizace komunikačních protokolů senzorů různých výrobců.

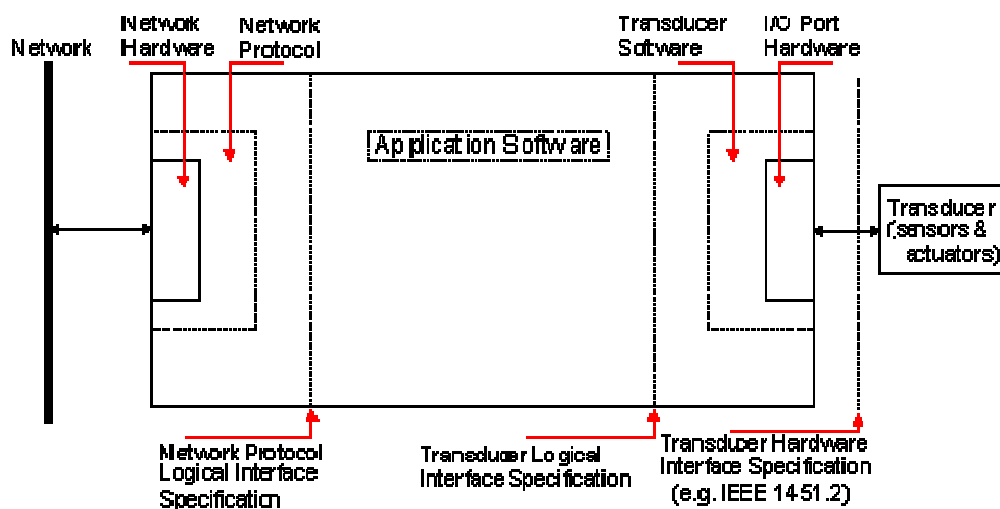
2 Standardy pro senzory

Standardizační sdružení IEEE se zabývá i oblastí senzorů. K tomuto účelu byl vytvořen standard 1451, který je vytvářen s cílem umožnit snadné začlenění provozních přístrojů – snímačů a akčních členů – do libovolného typu nadřazené sítě způsobem *plug and play*.

Pod standardem 1451 působí několik skupin: 1451.0 – 1451.6.

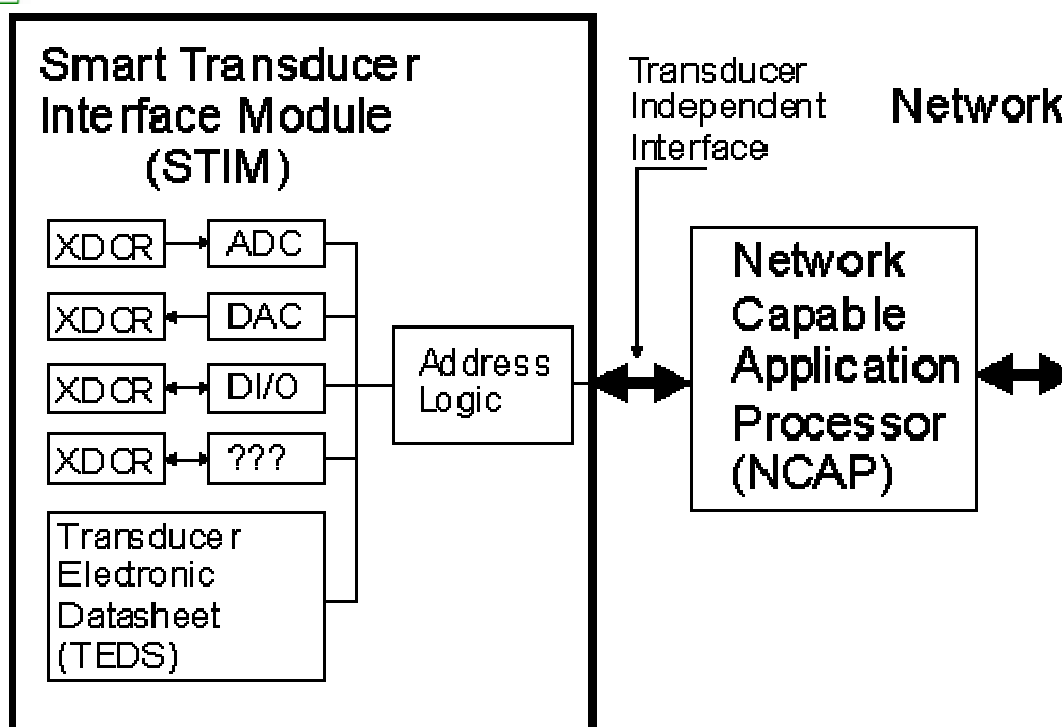
IEEE P1451.0: koordinuje činnost ostatních skupin pro zachování vzájemné kompatibility dílčích částí standardu IEEE 1451 a stanovuje základní množiny funkcí a komunikačních protokolů společných všem verzím standardu.

IEEE P1451.1: popisuje možnosti snadného připojení snímače k různým typům komunikačních sítí prostřednictvím definice obecného objektového modelu pro snímač a pro tzv. smart síťový snímač spolu se specifikacemi pro tento model a současně stanovit základní metody, typy proměnných a způsob přístupu k nim. Modul pro připojení k síti je označován jako network-capable application processors (NCAP) a může obsahovat i další části inteligence.



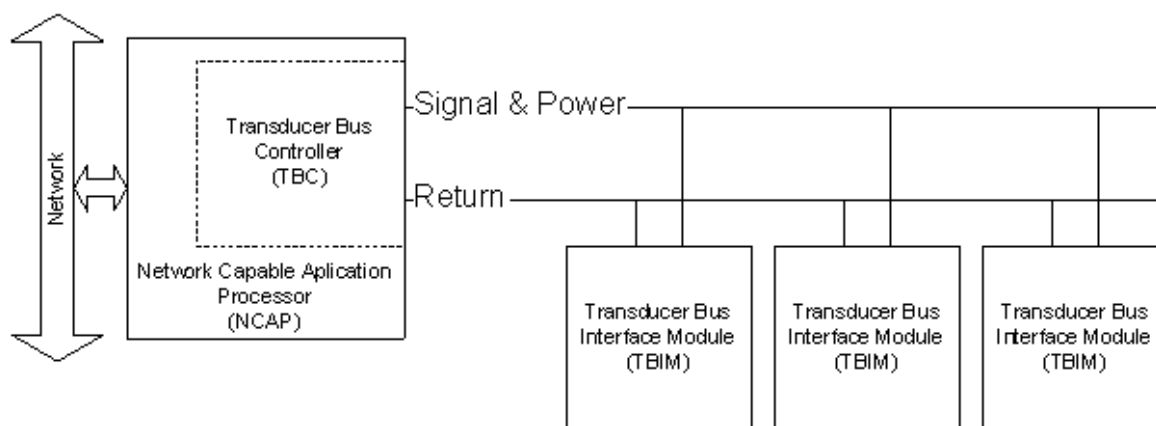
Obr. 2.1 Model IEEE 1451.1 síťového inteligentního převodníku

IEEE P1451.2: určuje hardwarové rozhraní mezi snímačem a hardwarovým modulem (zpravidla obsahujícím mikroprocesor) zprostředkovávajícím komunikaci s nadřazenou sítí (NCAP) a komunikačním rozhraním snímačů (STIM); cílem návrhu bylo vybavit snímač se zavedenou úrovní P1451.2 schopností poskytovat standardním způsobem informace o sobě samém formou tzv. TEDS; skupina posléze charakterizovala univerzální komunikační protokol, kterým lze tyto informace nejen získat, ale také zapsat.



Obr.2.2 Blokové schéma součástí IEEE 1451.2

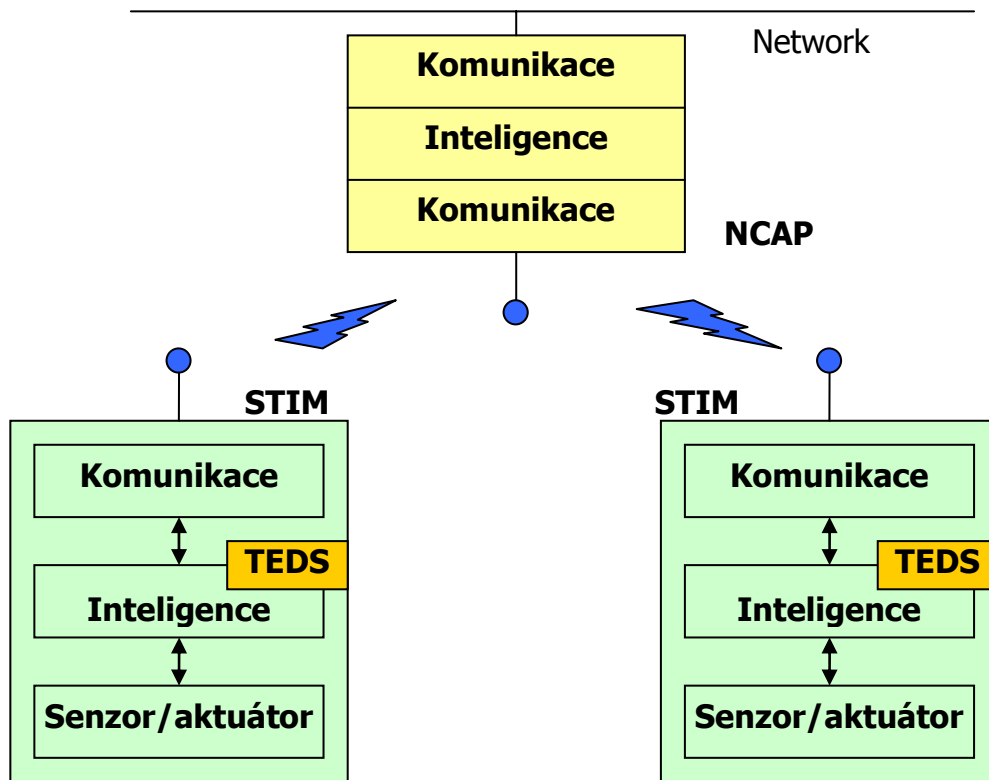
IEEE P1451.3: řeší zapojení několika fyzicky nezávislých snímačů, jejich časovou synchronizaci (digitální sběrnici pro přenos dat), možnost výměny za provozu (tzv. hot-swap) a s tím související automatickou identifikaci a samonastavování snímačů. Sběrnice se používá především ke sběru dat na místech, kde je v malém prostoru instalován velký počet snímačů, a také tam, kde není výhodné vést řídicí sběrnici ke každému snímači.



Obr. 2.3 Fyzická podoba standardu IEEE 1451.3

IEEE P1451.4: navrhuje možnosti automatické identifikace snímačů typu plug and play a použití smíšených digitálně-analogových připojení (mixed-mode connection).

IEEE P1451.5: doplňuje do standardu problematiku bezdrátových snímačů s předpokládanou těsnou návazností na standardy řady IEEE 802 (především IEEE 802.11, IEEE 802.15 a IEEE 802.16).

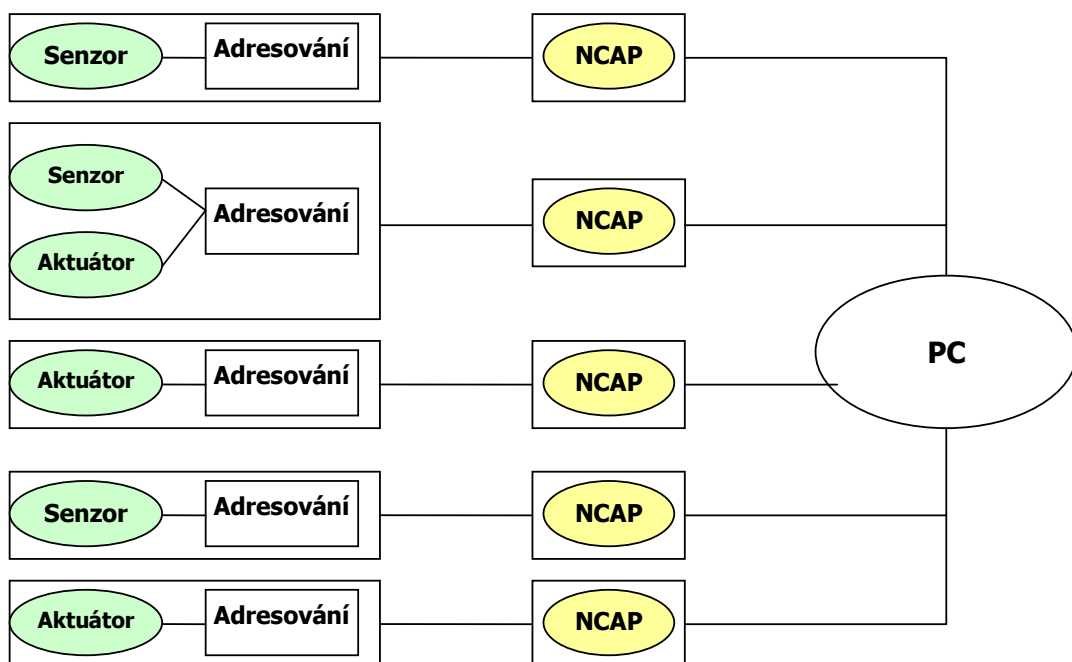


Obr. 2.4 Bezdrátové připojení standardem IEEE 1451.5

IEEE P1451.6: je standard pro funkčnost v bezpečné navrstvené síťové struktuře s několika řadiči na každé úrovni. Jako síťová transportní vrstva je sériová datová sběrnice CAN, která bývá implementována v mikrokontrolérech i jako samostatné řadiče sběrnice.

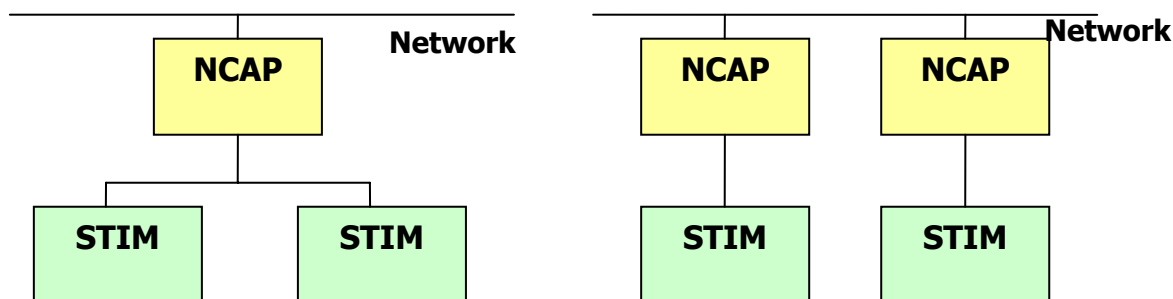
3 Zapojení sítí senzorů

Senzory mohou být do různých sítí zapojeny různými způsoby a to i společně s aktuátory.



Obr. 3.1 Možnosti připojení senzoru/aktuátoru

Při připojení k "pátevní" síti přes NCAP je možné také využít více způsobů připojení senzorů do sítě.



Obr. 3.2 Připojení senzorů do sítě

4 Inteligentní senzory Dallas

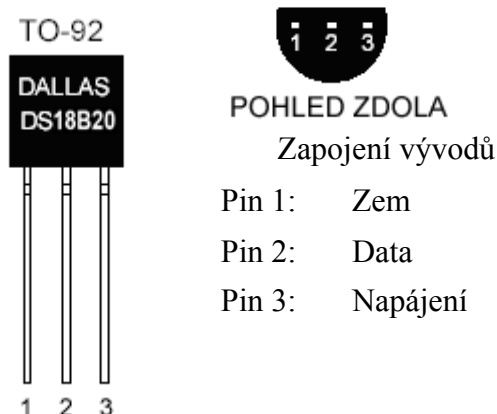
1-Wire (spolu s iButton) je technologie, která se zaměřila na snadné uchování a přenos informace. iButton jsou paměťové prvky (jinak označované taky jako TM – Touch Memory) s kterými ostatní zařízení komunikují přes protokol 1-Wire. Protokol je založen na sériové komunikaci, kde jednotlivé informace (bity) jsou předávány za sebou a k přenosu informací stačí pouze jeden datový elektrický vodič.

Každá paměť prvku sítě 1-Wire začíná pamětí ROM (Read Only Memory – laserem vypálenou v továrně již při výrobě čipu) o velikosti 8 byte, kde nejnižší byte je family (rodinný) kód – určující typ prvku, pak 6 byte sériového čísla v hexadecimálním tvaru (podle kterého je možné komunikovat s prvkem v síti 1-Wire s více zapojenými prvky) a nejvyšší byte je CRC (Cyclic Redundancy Code).



Obr. 4.1 Struktura paměti ROM

Obvod DS18B20 je digitální teploměr komunikující po sběrnici 1-Wire. Zapojení teploměru v pouzdře TO-92 je na obr. 4.2. Rozsah měřených teplot je od -55°C do $+125^{\circ}\text{C}$. Další teploměry se liší v rozlišení teploty a přidavnou pamětí a funkcemi. Princip měření a výměny dat o teplotě se však neliší. Tento senzor se dá pokládat za inteligentní, protože převede analogová data (teplotu) do digitální podoby, data lze posílat po digitální sériové sběrnici (senzor komunikuje), je schopen podat o sobě informace (sériové číslo s určením typu), je konfigurovatelný (přesnost převodu teploty) a je schopen i reagovat na překročení nakonfigurovaných mezí.



Obr. 4.2 Zapojení DS18B20

Obvod je řízen polem registrů, kde lze taky zjistit naměřenou teplotu. Mapa registrů je na obr. 4.3.

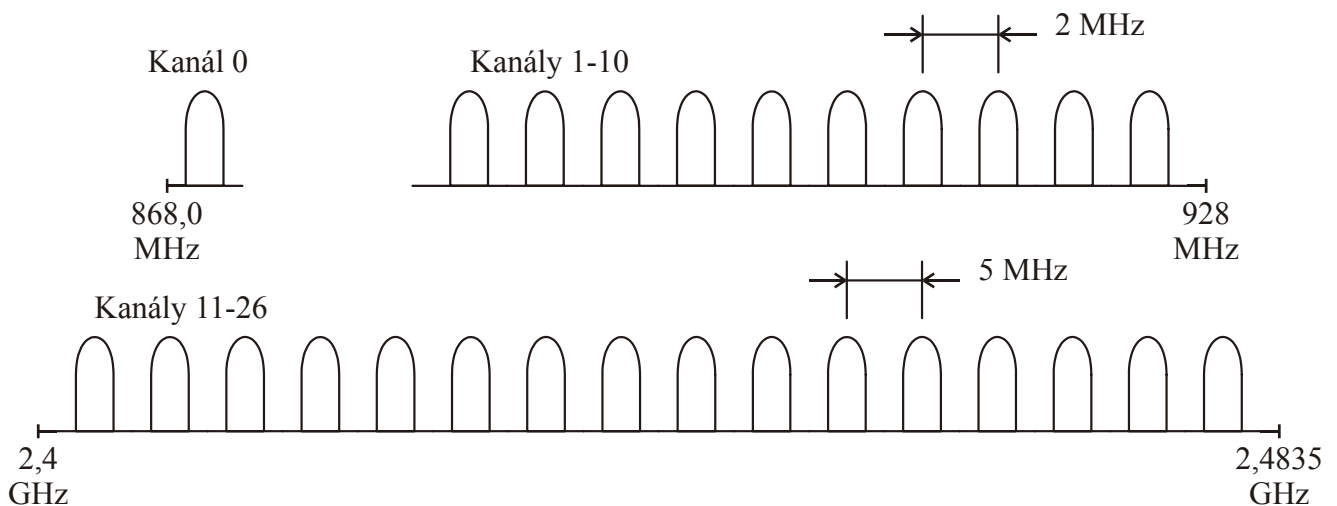
Byte	Scratchpad	EEPROM
0	LSB teploty	
1	MSB teploty	
2	TH (horní mez) / uživatelský	TH (horní mez) / uživatelský
3	TL (dolní mez) / uživatelský	TL (dolní mez) / uživatelský
4	Konfigurace	Konfigurace
5	Rezervovaný	
6	Rezervovaný	
7	Rezervovaný	
8	CRC	

Obr. 4.3 Mapa registrů DS18B20

5 Bezdrátová síť ZigBee pro inteligentní instrumentaci

ZigBee využívá komunikační frekvenční pásmo ISM (Industrial, Scientific and Medical) na frekvenci 2,4 GHz globálně a na 868/915 MHz pro Evropu/Ameriku. Jako základ využívá přenosové metody podle standardu IEEE 802.15.4.

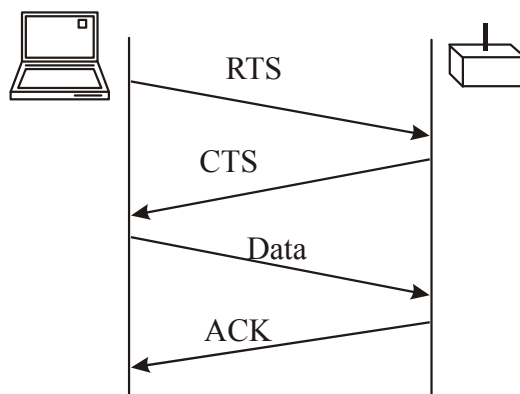
Komunikace využívá techniku spektrum rozprostřené přímou sekvencí DSSS. Zde je každý užitečný bit je nahrazen celou bitovou sekvencí (tzv. chip-em) a teprve ta je pak skutečně vysílána. Pro tuto techniku je dostupných 27 kanálů jeden na frekvenci 868 MHz, 10 kanálů s odstupem 2 MHz u 915 MHz a 16 kanálů s odstupem 5 MHz od frekvence 2,4 GHz (obr. 5.1). ZigBee uplatňuje pro 868/915 MHz kódování BPSK (binary phase shift keying) a pro 2,4 GHz O-QPSK (offset-quadrature phase shift keying) kódování. Dosahované rychlosti jsou na frekvenci 868 MHz 20 kbit/s, na 915 MHz 40 kbit/s a na 2,4 GHz 240 kbit/s. Dosah zařízení se pohybuje od 30 do 100 metrů.



Obr. 5.1 Přenosové kanály ZigBee

Standard ZigBee používá metodu přístupu CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance), tedy mnohonásobný přístup s nasloucháním nosné a s vyloučením kolizí. Tato varianta přístupové metody kolizím zcela předchází a vůbec nepřipouští jejich výskyt. Vše funguje tak, že uzel který chce odeslat nějaká data nejprve vyšle krátký paket RTS (Request to Send – žádost o vysílání), s údajem o velikosti hlavního datového paketu.

Pokud příjemce žádost RTS zaslechne, odpoví na ni paketem CTS (Clear to Send) – ostatní stanice o něm ví a po dobu udanou v paketu nevysílají. Poté žadatel o vysílání skutečně odešle svá hlavní data, načež si počká na potvrzení příjemce (ACK). Ten kontroluje správnost přijatých dat hlavně podle kontrolního součtu (přesněji CRC) – obr. 5.2.



Obr. 5.2 Metoda CSMA/CA

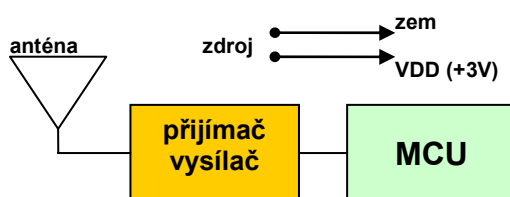
ZigBee definuje několik typů sítí: peer-to-peer, hvězdicová (star), síťová (mesh) a kombinace hvězda-strom (cluster tree), které jsou závislé na použitém počtu a typu jednotek. Jsou vytvořeny dva typy zařízení: s redukovanou funkcionalitou – RFD (mohou fungovat pouze jako koncová zařízení) a s plnou funkcionalitou – FFD (směrovač, koordinátor i jako koncové zařízení).

Koncové zařízení

Tato zařízení mají nízkou spotřebu a jsou velmi malá. Obsahují přijmač-vysílač a součásti inteligentního senzoru (mikrokontrolér, A/D převodníky a digitální vstupy/výstupy)– obr. 3.8. Zařízení patří mezi zařízení s omezenou funkcionalitou – RFD (reduced function device).

Směrovač (Router)

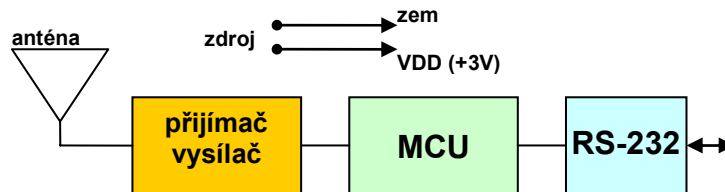
Tyto zařízení zprostředkovávají komunikaci mezi koncovými body a směřují ji k hlavnímu zařízení – obr. 5.3. Zařízení patří mezi zařízení s úplnou funkcionalitou – FFD (full function device).



Obr. 5.3 ZigBee směrovač

Koordinátor (Coordinator, Gateway)

Koordinátor přidává k funkcím směrovače ještě komunikaci s hostitelským systémem a řídí provoz vytvořené sítě – obr. 5.4. Zařízení taky patří mezi zařízení s úplnou funkcionalitou – FFD.



Obr. 5.4 ZigBee koordinátor

Zařízení mají definovanou 64-bitovou adresu podle IEEE (2^{64} zařízení) a 16-bitovou zkrácenou adresu, což umožňuje v lokální síti adresovat a konfigurovat reálně kolem 4000 zařízení. Pod jednou řídicí jednotkou může pracovat až 254 koncových zařízení.

Bezpečnost v sítích ZigBee zajišťuje hlavně šifrování dat šifrou AES (standardně 128 bitů), který je do zařízení implementován jako součást ZigBee. Další možností je seznam povolených zařízení nebo i přidání jiné metody.

6 Závěr

Intelligentní senzory představují zásadní vývojový trend měřicí techniky. Hlavní výhodou IS je, že z něj vystupuje ověřená a přesná informace o měřené veličině. Problémy spojené s aplikací IS spočívají především v nízké odolnosti vůči rušivým vlivům okolí a rovněž chybějící standardizace spolupráce IS v síti. Jako příklad inteligentního senzoru (subsystému) je popsán digitální teploměr DS18B20, u kterého jsou potřebné vlastnosti pro smart senzor.

Příspěvek se dále zabývá popisem bezdrátové technologie ZigBee, kterou lze využít pro inteligentní instrumentaci. Využití spočívá jednak v náhradě kabelů a tedy v mobilitě zařízení, a také ve vytvoření infrastruktury, která umožňuje připojit senzory do jiných sítí, její snadnější vytváření a úsporu materiálu využitím všudypřítomného přenosového média.

Technologie ZigBee je pomalejší než Bluetooth, jehož určení je spíše v náhradě kabelů pro periferní zařízení spojená s PC jako jsou klávesnice, myš, tiskárna apod. Bluetooth se ale také tlačí do průmyslové oblasti i jako náhrada kabelů pro RS-232, který je v průmyslu hojně používán.

Hlavní výhodou ZigBee je ovšem oproti Bluetooth a zejména pak Wi-Fi, velmi nízká spotřeba el. energie přenosové části zařízení nebo i množství propojených zařízení. Úspora je dosažena přepínáním do klidového stavu a výhodou je tedy i obnova komunikace z klidového stavu a její zahájení a také rychlé připojení nového zařízení do sítě v řádech milisekund.

7 Použitá literatura

- BENEŠ, P., 2004. *Standard IEEE 1451 – budoucnost inteligentních snímačů?* Dostupný z www: <http://www.automa.cz/automa/2004/au070401.htm>
- DALLAS SEMICONDUCTOR, Full Datasheet [online], 2002 [2002-05-13]. Dostupný z www: <http://pdfserv.maxim-ic.com/arpdf/DSxxxx.pdf>
- DALLAS SEMICONDUCTOR, Book of iButton Standards [online], 2002 [2002-04-26]. Dostupný z www: <http://www.ibutton.com/ibuttons/standard.pdf>
- FREESCALE, *ZigBee Technology from Freescale* [online], 2004. Dostupný z www: http://www.freescale.com/files/wireless_comm/doc/brochure/BRZIGBEETECH.pdf
- IEEE 1451, *Homepage* [online], 2005. Dostupný z www: <http://ieee1451.nist.gov>
- ZigBee Alliance 2004, *Zigbee Overview*. Dostupný z www: <http://www.zigbee.org/>