

Bezdrátové komunikační systémy založené na IEEE 802.15.4 v procesní automatizaci (1. část)

Ondřej Hynčica, Karel Pavlata

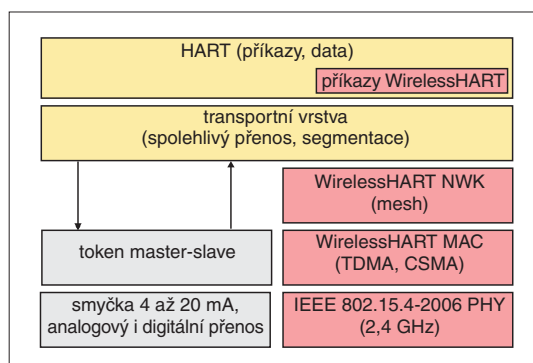
Článek se zabývá současnými standardy pro průmyslovou bezdrátovou komunikaci na úrovni provozního řízení. Jsou zde uvedeny pouze otevřené mezinárodní standardy založené na normě IEEE 802.15.4 pro sítě krátkého dosahu (WPAN). Ačkoliv jsou tyto standardy pro bezdrátové komunikační systémy k dispozici již několik let, zatím se v automatizaci procesní výroby výrazně nerozšířily. Původní favorit ZigBee nedokázal splnit očekávání a v současnosti se zaměřuje na jiné oblasti, než je průmyslová automatizace. Přesto je zřejmé, že bezdrátové komunikační systémy mají v automatizaci velký potenciál, o čemž svědčí vývoj nových standardů pro bezdrátové komunikační systémy zaměřených právě na procesní automatizaci – WirelessHART, WIA-PA a ISA 100.11a-2009 byly vydány v rozmezí dvou let. Článek stručně seznamuje se základy normy IEEE 802.15.4 a následně představuje a srovnává standardy WirelessHART, ISA100.11a a WIA-PA.

1. Úvod

Pro bezdrátové systémy určené pro komunikaci na vzdálenost několika desítek metrů se používá označení sítě krátkého dosahu nebo osobní sítě, tzv. WPAN (*Wireless Personal Area Networks*). Prvním a nejrozšířenějším zástupcem je síť podle standardu nazvaného Bluetooth, definovaného normou IEEE 802.15.1, určená pro komunikaci s periferiemi a jako náhrada kabelů. V roce 2003 byla schválena norma IEEE 802.15.4 definující rádiové sítě krátkého dosahu určené pro použití v automatizaci. Šlo o první otevřenou normu v této oblasti a povedlo se jí získat v podstatě monopol. Norma IEEE 802.15.4 určuje pouze fyzickou a přístupovou vrstvu komunikačního modelu (stejně jako např. WiFi), ale na rozdíl od WiFi není primárně připravena pro IP protokoly na vyšších vrstvách. Protokoly vyšších vrstev nejsou specifikovány a aplikační software musí vyřešit síťovou a transportní část nebo se spolehnout na jiné protokoly. Od počátku je norma IEEE 802.15.4 spojována se standardem ZigBee, který nad ní vymezuje další komunikační vrstvy a vytváří tím kompletní protokol. V případě průmyslové a především procesní automatizace se ukázalo, že protokol ZigBee není vhodný pro průmyslové prostředí. Ani specifikace ZigBee PRO vydaná v roce 2007 všechny nedostatky neodstranila. Ostatně průmyslová automatizace není hlavní cílovou oblastí ZigBee Alliance, která se podle vydaných komunikačních profilů zaměřuje na oblasti domácí automatizace, spotřební elektroniky, automatizace budov a v poslední době vkládá hodně úsilí do komunikace pro *smart grid*, kde vzniká již druhá verze profilu.

Naproti tomu samotná norma IEEE 802.15.4 se stala v průmyslu velmi úspěš-

nou a je základem mnoha firemních protokolů. Nicméně ani IEEE 802.15.4 v některých ohledech nevyhovuje požadavkům průmyslového prostředí a procesní automatizace. Jako hlavní nedostatky je uváděn především nedeterministický přístup k médium, který vede k saturaci při větším počtu komunikujících zařízení, nedostatečné zabez-



Obr. 1. Komunikační model protokolu podle standardu HART, včetně bezdrátové varianty WirelessHART

pečení (zejména u první verze) a chybějící návaznost na protokoly vyšších vrstev. Proto během několika posledních let vzniklo množství průmyslových standardů pro bezdrátovou komunikaci, které se snaží normu IEEE 802.15.4 doplnit pro potřeby automatizace a odstranit její nedostatky. V roce 2007 byl vydán standard WirelessHART a o rok později byl schválen jako norma IEC/PAS 62591. Organizace ISA (*International Society of Automation*) vydala v roce 2009 první verzi normy ISA100.11a. Organizace CIWA (*Chinese Industrial Wireless Alliance*) od roku 2007 pracovala na stan-

dardu WIA-PA založeném na normě IEEE 802.15.4, který byl v roce 2008 schválen jako norma IEC/PAS 62601.

2. Norma IEEE 802.15.4

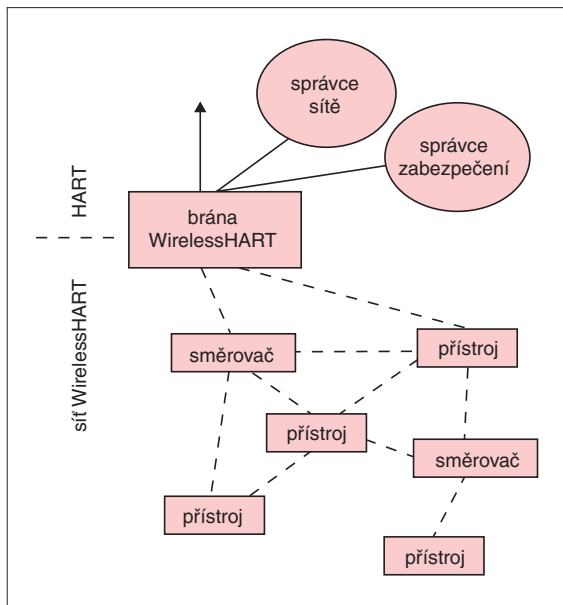
Norma IEEE 802.15.4 [1] definuje rádiovou komunikaci pro sítě krátkého dosahu, přičemž popisuje pouze fyzickou a přístupovou vrstvu komunikačního modelu. Je určena především pro komunikaci malou rychlostí, v řádu desítek až stovek bitů za sekundu, zajišťuje vysokou spolehlivost přenosu, a to při jednoduché implementaci a s ohledem na omezení spotřeby koncových zařízení.

2.1 Komunikační model

Fyzická vrstva specifikuje komunikaci v bezlicenčních pásmech 868 MHz, 915 MHz a 2,4 GHz. Rádiové vysílače a přijímače využívají techniku rozprostřeného spektra (DSSS, PSSS) a tři druhy modulace (QPSK, BPSK a ASK). Maximální komunikační rychlost je 250 kb/s při maximální velikosti datové části rámce na fyzické vrstvě 127 B. Souhrn fyzických vrstev definovaných normou IEEE 802.15.4 je uveden v tab. 1. Komunikace v pásmu 2,4 GHz je v současnosti nejrozšířenější, a to hned z několika důvodů – rádiové moduly pro 2,4 GHz byly k dispozici velmi brzy a od mnoha výrobců, pásmo povoluje šestnácti kanálů (oproti jednomu pro evropské pásmo 868 MHz) a podstatně vyšší komunikační rychlost než v jiných pásmech (do revize normy, která zvýšila povolenou rychlost přenosu i v jiných pásmech). Nevýhody související s velkým využitím pásma 2,4 GHz (WiFi, Bluetooth atd.), horší šíření signálu uvnitř budov a menší povolené výškové výkony vedou v současné době k rychlému rozšiřování komunikací v pásmech 868 a 915 MHz.

Linková vrstva komunikačního protokolu podle normy IEEE 802.15.4 je založena na metodě náhodného přístupu k médium CSMA-CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*). Podle této metody

zařízení, které chce vysílat, po náhodné prodlevě (*back-off time*) ověří, zda je kanál volný, a pokusí se vyslat paket. Obsazení kanálu se zjišťuje měřením úrovně energie na kanálu nebo detekcí nosné frekvence, popř. pomocí obou uvedených metod. Protože tato metoda nemůže zaručit úspěšnost přenosu, je pro zvýšení pravděpodobnosti doručení paketu možné



Obr. 2. Příklad topologie sítě využívající protokol WirelessHART

využít automatické přeposlání (ARQ). Jestliže není ve stanoveném čase obdrženo potvrzení doručení paketu (ACK), je paket automaticky opakovaně přeposlán (až sedmkrát, doporučená hodnota je tři). Výhodou metody náhodného přístupu je snadná implementace a krátká doba latence přístupu k médiu. Protože není nutná synchronizace zařízení, je možné pro realizaci využít jednodušší hardware a používat delší periodu spánku zařízení. Mezi hlavní nevýhody patří nedeterminismus metody, kdy skutečná doba přístupu k médiu se může v čase značně lišit, a dále malá účinnost při velkém zatížení kanálu (což nastane při větším počtu zařízení v síti, kdy při padesáti a více aktivních uzlech klesá propustnost o 30 až 50 % [2]).

Více detailů o normě IEEE 802.15.4 lze najít např. ve [2] a v samotném normě, která je volně dostupná [1].

Tab. 1. Specifikovaná frekvenční pásma a typy fyzické vrstvy podle normy IEEE 802.15.4-2006

Pásmo (MHz)	Přenosová rychlost (kb/s)	Modulace	Počet kanálů	Verze normy
868	20	DSSS, BPSK	1	2003, 2006
915	40	DSSS, BPSK	10	2003, 2006
868	250	PSSS, ASK	1	2006 (volitelně)
915	250	PSSS, ASK	10	2006 (volitelně)
868	100	DSSS, O-QPSK	1	2006 (volitelně)
915	250	DSSS, O-QPSK	10	2006 (volitelně)
2 450	250	DSSS, O-QPSK	16	2003, 2006

2.1.1 Normalizace

Norma byla v roce 2006 revidována, přičemž nová verze zůstává zpětně kompatibilní s původní verzí z roku 2003. Původní verze je nyní označována jako IEEE 802.15.4-2003, revidovaná verze z roku 2006 je označována jako IEEE 802.15.4-2006 (podle původního značení IEEE 802.15.4b). Hlavní rozdíl nové verze z roku 2006 ve srovnání s původní normou je rozšíření možných rádiových vrstev, pro které byla zavedena dvě nová volitelná modulační schémata pro frekvence 868 a 915 MHz (umožňující použít vyšší komunikační rychlosti). Mezi další podstatné změny (brána z úvodu druhé verze standardu [1]) patří: časové známkování rámců, zkrácená doba asociace zařízení do sítě (pro režim *beacon-less*), volitelná podpora metody bezkolizního přístupu k médiu (GTS) a rozšíření možností pro zabezpečení komunikace (*security*).

Existují ještě další rozšíření, a, d, c, e. Jejich popis je nad rámec tohoto článku.

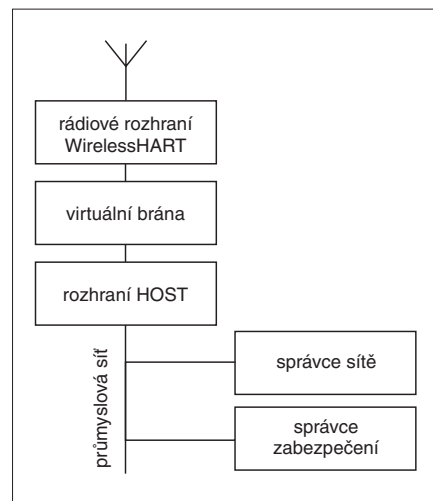
3. Zigbee

Standard ZigBee má s ostatními metodami komunikace uvedenými v tomto článku hodně společného a všechny standardy se vzhledem k ZigBee určitým způsobem vymezují. Současně však ZigBee do tématu článku nepatří, protože jeho použití v procesní automatizaci je omezené. Pojednává o něm proto samostatný článek.

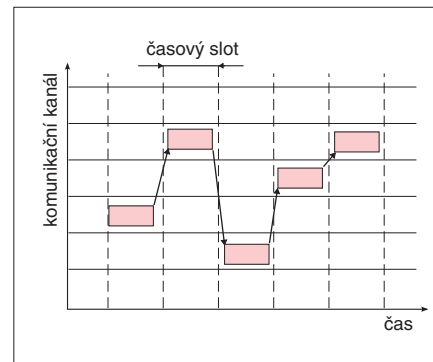
4. WirelessHART

Protokol HART (*Highway Addressable Remote Transducer*) je určen k obousměrné komunikaci mezi inteligentními provozními přístroji (*field instruments*) a nadřazeným řídicím systémem [3], [5]. Jeho vývoj je zajišťován organizací HCF (*HART Communication Foundation*). Jde o velmi rozšířený protokol (udává se přes 30 milionů celosvětově instalovaných zařízení), jenž je využíván především k nastavování parametrů a diagnostiku přístrojů. Určuje fyzickou

vrstvu (superpozice digitálního frekvenčně modulovaného signálu na analogový signál v proudové smyčce 4 až 20 mA), linkovou vrstvu (*master-slave token-passing*), transportní vrstvu (spolehlivý přenos s automatickou fragmentací) a aplikační vrstvu (formát příkazů a odpovědí a formát datových struktur).



Obr. 3 Struktura brány (gateway) WirelessHART



Obr. 4. Přístupová metoda protokolu WirelessHART s časovými sloty a změnou komunikační frekvence

V roce 2007 byl v rámci sedmé verze specifikace protokolu HART rozšířen o bezdrátovou variantu známou jako WirelessHART. WirelessHART vymezuje alternativní bezdrátovou fyzickou vrstvu a dále linkovou a síťovou vrstvu. Ostatní vrstvy (transportní a aplikační) zachovávají shodné s „drátovou“ verzí protokolu. Vztah protokolů HART a WirelessHART je naznačen na společném komunikačním modelu na obr. 1.

4.1 Architektura

Protokol WirelessHART rozeznává tři základní typy zařízení: správce sítě (*network manager*), bránu (*gateway*) a přístroj (*field device*). Za zvláštní typ přístroje lze považovat přenosné zařízení (*handheld*) určené k údržbě, diagnostice apod. Správce sítě je součástí brány WirelessHART, a to buď při-

mo, nebo pouze logicky (v případě distribuovaného systému). Příklad sítě využívající protokol WirelessHART ukazuje obr. 2, strukturu brány WirelessHART obr. 3.

Úkolem správce sítě je spravovat konfiguraci sítě, udržovat směrovací tabulky a plánovat komunikaci mezi jednotlivými zařízeními. Správce sám o sobě není bezdrátové zařízení a k síti je připojen prostřednictvím brány. Brána je určena k napojení sítě WirelessHART k dalšímu systému.

Přístroje WirelessHART mohou být přímo provozní přístroje s bezdrátovým výstupem nebo mohou být realizovány prostřednictvím adaptéru, který umožňuje připojit „drátové“ přístroje HART do bezdrátové sítě WirelessHART. Adaptér WirelessHART pracuje na jednoduchém principu, kdy na „drátové“ straně se chová jako *master* HART a do bezdrátové sítě se připojuje jako zařízení WirelessHART. Z pohledu normy IEEE 802.15.4 jsou všechna zařízení WirelessHART zařízení s plnou funkcí (FFD), schopná směrovat pakety v síti. Z pohledu protokolu HART je správce sítě v komunikaci *master* a provozní přístroje jsou *slave*. Použitá metoda TDMA napodobuje protokol *token-pasing* pro „drátový“ HART.

4.2 Komunikační model

Základem protokolu WirelessHART je norma IEEE 802.15.4-2006, ze které ale využívá pouze fyzickou vrstvu pro rádiovou komunikaci v pásmu ISM 2,4 GHz. V protokolu je specifikována linková vrstva s časovým multiplexem a dynamickým přeskokováním komunikačního kanálu. Vychází z protokolu TSMP (*Time Synchronized Mesh Protocol*), vytvořeného firmou Dust Networks [4], který je zohledněn i v připravované normě IEEE 802.15.4e. Přístup k médiu je rozdělen na časové sloty s pevnou délkou 10 ms, přičemž komunikační kanál se pro každý slot mění podle pevně dané pseudonáhodné sekvence (protokol TSCH – *Time Synchronized Channel Hopping*). Střídání kanálů v rámci ISM pásma 2,4 GHz umožňuje vyhnout se úzkopásmovému rušení a zvýšit spolehlivost přenosu. WirelessHART podporuje vynechání některých kanálů (*channel blacklisting*), které jsou využity pro jiné účely nebo jsou zatíženy rušením. Plánování komunikace mezi zařízeními v síti zajišťuje správce sítě. Jako doplněk vysílající zařízení před přístupem ke kanálu v daném časovém slotu provede ještě kontrolu volného média metodou CSMA-CA. Kombinací těchto tří metod by mělo být dosaženo podstatně lepší spolehlivosti přenosu a propustnosti než při použití přístupové (MAC) vrstvy IEEE 802.15.4. Zařízení musí být přesně synchronizována, aby se komunikace uskutečnila v daném čase na daném kanálu (obr. 4). Pro synchronizaci zařízení v síti se využívají časové známky připojené k potvrzením (ACK).

Na síťové úrovni podporuje WirelessHART topologii *mesh* (případně hvězda). Každé za-

řízení v síti WirelessHART pracuje jako směrovač. Jsou určeny dvě metody směrování paketů, které musí podporovat každé zařízení v síti WirelessHART: *graph routing* a *source routing*. V případě *graph routing* jsou cesty nastaveny správcem sítě a uloženy ve všech zařízeních v síti. V případě výpadku některého ze spojů je paket přeposlán po alternativní cestě. Při *source routing* je cesta součástí paketu a při výpadku některého ze spojů po cestě je paket ztracen. Aplikační vrstva protokolu WirelessHART odpovídá „drátové“ verzi HART, přičemž některé příkazy jsou specifické pro dané fyzické médium.

4.3 Normalizace

WirelessHART byl v roce 2008 schválen jako veřejně přístupná specifikace IEC/PAS 62591. Certifikaci produktů WirelessHART zajišťuje organizace HCF. V současné době jsou na trhu dostupné certifikované přístroje WirelessHART, adaptéry, brány i softwarové implementace protokolu. Cena přístrojů WirelessHART je poměrně vysoká – např. adaptér WirelessHART může stát 700 až 1 000 amerických dolarů (při odběru v malém množství, www.mactekcorp.com).

Literatura k první části:

- [1] IEEE 802.15.4, Part 15.4: *Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANS)*. IEEE standard for Information Technology, revize 2006, 2006.
- [2] ZHENG, J. – LEE, M. J.: *Sensor Network Operations*. 1st edition. Wiley-IEEE Press, 2006. A comprehensive performance study of IEEE 802.15.4, s. 218–237, ISBN 0-471-71976-5.
- [3] HART Communication Foundation [online]. 2011 [cit. 2011-03-02]. Dostupné z www.hartcomm.org/
- [4] Dust Networks: *Technical Overview of Time Synchronized Mesh Protocol (TSMP)*. [online]. 2009. [cit. 2011-03-02]. Dostupné z [www://dustnetworks.com/cms/sites/default/files/TSMP_Whitepaper.pdf](http://dustnetworks.com/cms/sites/default/files/TSMP_Whitepaper.pdf).
- [5] SONG, J. et al.: *WirelessHART: Applying Wireless Technology in Real-Time Industrial Process Control*. In: *Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, RTAS '08* [online], St. Louis, USA. IEEE, 2008 [cit. 2011-03-02]. Dostupné z [www://dx.doi.org/10.1109/RTAS.2008.15](http://dx.doi.org/10.1109/RTAS.2008.15). ISSN 1080-1812.

(dokončení v příštích číslech)

Ing. Ondřej Hynčica,
Bc. Karel Pavlata,
ústav automatizace a měřicí techniky
FEKT VUT v Brně

VYSOKÁ RYCHLOST

VYSOKÝ VÝKON
GIGABITOVÉ PŘEPÍNAČE
PRO PRŮMYŠLOVOU KOMUNIKACI



Weidmüller Gigabit Switches nabízejí vynikající výkon sítě, bezpečnost a spolehlivost.

Všestranný - univerzální možnosti použití v průmyslových a páteřních sítích
Odolný k chybám - redundance topologie smyčky a doba zotavení menší než 20 ms

Plug-and-Play - externí paměť a konfigurační modul podporuje jednoduchou výměnu a update konfigurace switche

Celosvětové využití - ATEX, UL, Class I, Div.2, DNV a GL - celosvětové univerzální využití

Electronics - Made by
Weidmüller

www.weidmuller.cz

Weidmüller