

## Chytré nositeľné systémy SWS

Hambalík Alexander · Elektrotechnika

04.11.2015



Aktuálne technologické pokroky a trendy podporujú rastúci záujem o hľadanie nových riešení a foriem poskytovania zdravotnej starostlivosti. Inovatívne prenosné a nositeľné systémy (SWS) ponúkajú riešenia pre dostupné a personalizované služby v dobrej kvalite. Dané systémy sa používajú na monitorovanie pacientov 24 hodín denne, vo svojom vlastnom dome a okolí podľa vopred stanovených medicínskych protokolov.

### 1. Úvod

Moderná medicína a zdravotnícke služby sa snažia držať krok s najnovšími technológiami a zároveň dávajú podnety pre ďalší výskum a rozvoj aj v tejto veľmi špecifickej oblasti. V súčasnosti komplexné vyšetrenie pacientov prebieha v prostredí, ktoré tvoria dômyselne navrhnuté a zapojené prístroje a zariadenia, doplnené množstvom rôznych senzorov. Zložitosť zariadení a ich vzájomná automatická spolupráca v systéme môže byť na veľmi vysokej úrovni. Nie je preto prehnané ich označiť pojmom ekosystém, ktorý pôvodne bol používaný len pre živé organizmy.

Napriek takejto výbave vyšetrenia nie vždy dokážu sledovať a odmerať potrebné veličiny v žiadanom rozsahu a s dostatočnou presnosťou, hoci konštrukcia a presnosť zariadení by to dovolila. Podľa výsledkov doterajších výskumov príčiny takýchto javov môžeme pripísať na vrub rôznych okolností, z ktorých si dve určite zaslúžia väčšiu pozornosť.

Pacient je pri takomto vyšetrení obklopený zdravotníckym personálom a pre neho cudzím, umelo vytvoreným prostredím, kde je plno neznámej techniky. U pacienta to vyvolá úzkosť a neobvyklé fyziologické procesy, preto namerané výsledky nezmapujú objektívny stav pacienta a neodhalia skutočné príčiny chorobného stavu alebo iných ťažkostí a problémov. Preto vývoj nových prístrojov a zariadení, ale aj podpory smeroval k tomu, aby sa vyšetrenie pacienta v čo najväčšom možnom rozsahu realizovalo priamo v domove pacienta.

Nemenej dôležitou príčinou je aj to, že špičkové zdravotnícke zariadenia nie sú interoperabilné, teda len zriedkavo dokážu na dostatočnej úrovni spolupracovať tak, aby sa vzájomne a automaticky podporovali v rámci vyšetrenia a počas poskytovania zdravotníckej starostlivosti. Ani technické normy nie sú v tomto smere dostatočne vypracované a na trhu prístrojov stále prevládajú proprietárne nesieťové riešenia. Okrem toho v pretechnizovanej domácnosti pacienta so sieťovým pripojením je len zriedkavosťou, že sa vyskytuje také mobilné zariadenie, ktoré dokáže so

zdravotníckymi zariadeniami spolupracovať, hoci táto možnosť sa núka sama o sebe a predstavovalo by to zreteľné uľahčenie celého procesu pre všetky zainteresované strany.

Práve tieto príčiny vedú k tomu, že by sa mal proces napredovania aj v tomto smere zrýchliť. Vývoj možno urýchliť tak, že pre expertov a vývojárov sa vytvoria také podmienky, ktoré urýchlia osvojenie potrebných základných poznatkov bez toho, aby v prvej fáze nadmerne zaťažovali ich prácu, pričom by boli pre tento účel dostatočne rozsiahle a presné. Podľa odborníkov a zdravotníckeho personálu zo sveta ale aj z iných, nášmu zdravotníckemu systému blízkych krajín (napr. Česká republika), prevláda názor že „zdravotníctvo musíme elektronizovať z dola“. Pravdepodobne to vyjadruje nepriamo aj podstatu problému. Len veľký výber nositeľných a interoperabilných zariadení za dostupné ceny s dobrými službami, pripraveným personálom a veľkou úžitkovou hodnotou pre zdravie pacienta priamo v jeho domácnosti vytvára podmienky pre moderné a financovateľné zdravotníctvo.

## 2. Aktuálny stav a výzvy

Pre monitorovanie zdravotného stavu môžu SWS poskytovať široký rozsah nositeľných a implantovateľných prostriedkov, vrátane senzorov, akčných členov, inteligentných textílií, napájacích zdrojov, bezdrôtových komunikačných sietí (WCNs), spracovateľských jednotiek, multimediálnych zariadení, užívateľských rozhraní, softvérov a algoritmov pre zachytenie, spracovanie dát a pre podporu rozhodovania. Tieto systémy sú schopné merať životné funkcie, ako je teplota tela a kože, srdcová frekvencia, arteriálny krvný tlak, saturácia krvi kyslíkom (SpO<sub>2</sub>), snímať povrchové napätia a vygenerovať z nich elektrokardiogram (EKG), elektroencefalogram (EEG) a zistiť frekvenciu dýchania. Merania sa odovzdávajú prostredníctvom bezdrôtovej siete senzorov (WSN), a to buď pre centrálny spojovací uzol, ako je napríklad osobný digitálny asistent (PDA, smartphone), alebo sa posielajú priamo do zdravotníckeho centra. Lekár potom môže riadiť manažment pacienta na základe prenesených dát.

Čoraz dôležitejší typ nositeľného systému je inteligentné lekárske monitorovacie zariadenie, schopné poskytovať spracovanie údajov a vyslať spätnú väzbu pre zdravotnícky personál, pacientov, športovcov a zdravých jedincov v reálnom čase (real-time). Jedinec môže nosiť zariadenie počas bežného, každodenného života, pričom lekári sledujú pacienta v reálnom čase dlhšie, ako je možné počas pobytu v nemocnici alebo v lekárskej ordinácii. Systém môže dokonca vyvolať poplach v prípade núdze. Napríklad, ak jedinec žije sám dostane mŕtvicový záchvat (stroke), môže byť odoslaná sanitka, akonáhle nastane záchvat. Pokroky v oblasti mikroelektromechanických systémov (MEMS) riešia rad klinických indikácií, ako je uvoľňovanie účinnej látky lokálne bodové tzv. point-of-care testovanie pomocou biosenzorov.

Elektrická stimulácia pomocou implantovateľných alebo transkutánných elektronických zariadení alebo elektród sa často používa na obnovu motorickej a senzorickej funkcie počas liečenia pacientov v akútnej a subakútnej fáze ochrnutia, ktorá je indukovaná systémovou léziou centrálného nervového systému. Napriek pokroku existuje mnoho prekážok, ktoré treba ešte prekonať k tomu, aby sa mohli používať úplne implementované systémy SWS. Sú to: vysoké náklady, obmedzená veľkosť a hmotnosť zariadení, spotreba energie, samotný proces zavedenia a pripojenia

senzora, etika, právo, súkromie, sloboda, samostatnosť, spoľahlivosť, bezpečnosť a problémy so službami [1].

### *Obr. 1. Nositeľné systémy*

SWS potenciálne umožňujú sledovať pacienta a jeho prostredie a reagovať na nich, pričom nároky na vývoj a pokrok v technológii pre SWS stále rastú. Inteligentné, nízko nákladové siete senzorov s ultranízkou spotrebou sú navrhované tak, aby pomohli poskytovať služby príslušným osobám a dovolili zhromažďovať obrovské množstvo biomedicínskych informácií. Ponúkajú nové zdroje dát a prinášajú nové výzvy, pričom ich poskytujú rýchlo, spoľahlivo a bezpečne. Naďalej pokračuje vývoj bezdrôtových technológií a všadeprítomnej výpočtovej techniky a tie prenikajú do oblasti ako bezdrôtové siete senzorov, mobilné zariadenia, inteligentné nositeľné zariadenia a dátové komunikačné siete. Tieto technológie budú vytvárať inteligentné prostredie a pomoc so vzdialenou zdravotnou starostlivosťou. Ich aktuálne schopnosti zahŕňajú fyziologické snímanie a snímanie pohybu.

SWS sa používajú v oblastiach siahajúcich až do telemedicíny (liečenie na diaľku) a e-health (elektronické zdravotníctvo). Pri riešení rôznych problémov prepojenia sa zaviedli pojmy ako 'body area network (BAN)', 'body sensor network (BSN)', 'wide area network (WAN)' a 'personal area network (PAN)'. Dôležité je u nich zohľadniť požiadavky užívateľov, akceptovať súkromie používateľov, finančnú nákladnosť, hardvér a softvér a nevtieravosť. Tento článok poskytuje prehľad o systémoch SWS a opisuje súčasný stav výskumu a vývoja nositeľných systémov pre sledovanie zdravotného stavu (HM - health monitoring) pomocou ohlásených výsledkov a hlavných vlastností najslubnejšie sa vyvíjajúcich projektov a budúcich výziev z tejto oblasti.

### **3. Vývoj nositeľných systémov**

Väčšina výskumných projektov z oblasti SWS sa zameriava na inteligentné zariadenia a prostredia, zahŕňajúce nositeľnú výpočtovú techniku, ktorá presúva výpočtovú techniku z domáceho prostredia (smart home) priamo na naše telo (implantovateľné, prehľadateľné), do našich odevov (inteligentné oblečenie) respektíve nosíme ich ako doplnok príslušenstva (šperky), vo forme náplastí, atď. Posledné výsledky technologického vývoja, použitia ľahkých zariadení, WSN a spracovania dát viedli k oživeniu neinvazívnych SWS, ktoré zlepšia systémy HM [2]. SWS deteguje stav užívateľa priamo v jeho prostredí. Projekty v SWS sa sústreďujú na odhaľovanie fyzického stavu užívateľa (fyziologické parametre, činnosť, mobilita). V dôsledku rýchleho pokroku v oblasti mobilného snímania a výpočtovej techniky sa pre nositeľnú výpočtovú techniku vyvinuli výkonné metódy na automatické rozpoznanie, klasifikovanie a označenie ľudského zdravotného stavu, správania a činnosti [3]. SWS majú monitorovacie aj diagnostické aplikácie. Zahŕňajú systémy, ktoré sú inteligentné a prenikavé.

Automatickú integráciu získaných dát a užívateľského vstupu do výskumných databáz môže poskytnúť lekárska komunita alebo formálny resp. neformálny opatrovateľ a umožniť tak hľadanie trendov vývoja zdravotného stavu. Tie umožňujú nahliadnúť do

progresu choroby, účinkov farmakoterapie, rehabilitačného procesu a podporu pre osoby so zdravotným postihnutím. Systémy môžu vyžadovať buď zásah používateľa alebo sa nemusia opierať o jeho aktívnu účasť. Pacienti, ktorí trpia chronickým ochorením tak majú možnosť priebežne sledovať a kontrolovať svoj zdravotný stav. Pokroky v bezdrôtových senzorových sieťach a všadeprítomnej výpočtovej techniky vydláždili cestu pre nové možnosti v systémoch zdravotnej starostlivosti. V domácnosti, môžu všadeprítomné siete pomôcť obyvateľom tým, že podporujú diaľkové ovládanie domácich zariadení, vyhľadávania zdravotníckych dát, automatické dávkovanie liekov respektíve núdzové komunikácie a služby. Všetky vyššie uvedené skutočnosti umožňujú prelomenie fyzických hraníc nemocníc a presun zdravotnej starostlivosti do domu pacienta.

Posledné technologické pokroky z oblasti integrácie a miniaturizácie senzorov, zabudovaných mikroradičov, rádiových rozhraní na jedinom čipe a bezdrôtových sietí viedli k novej generácii WSN pre HM. Rad fyziologických senzorov, ktoré monitorujú vybrané signály, senzory životného prostredia (teplota, svetlo, vlhkosť) a senzory polohy, všetky môžu byť integrované do siete WSN, BAN, BSN, WAN, alebo PAN. Easy-to-use (jednoduché používanie) funkcie point-of-care diagnostiky umožňujú klinickú analýzu na strane pacienta (napr. mimo nemocnice). Povolením technológie mikrovýroby a mikrofluidiky sa preskúmala široká škála zdravotných situácií použitím point-of-care diagnostiky, pričom sa sledovali príznaky ochorení, posúdenie terapie, detegovanie chemických a biologických rizík a identifikáciu infekčných ľudí počas pandémie. Mikrofluidné zariadenia sú schopné elektrochemicky analyzovať celý rad biochemických zlúčenín, ako je napríklad glukóza, cholesterol, laktát a alkohol [4].

Zariadenia MEMS, ako aj mikrorezervoárové zásoby liečiv, mikročerpadlá, ventily a senzory, boli vyvinuté pre poskytovanie veľmi malého množstva lieku (v mikrogramoch). Užitočnosť MEMS pre biomedicínske aplikácie spočíva v ich schopnosti pracovať buď v nepretržitom, alebo v diskretnom móde, ktoré napodobňujú metastabilitu živého orgánu. Jeden microchip pre podávanie liekov je schopný uvoľňovať liečivá otvorením rôznych zásobníkov na príkaz. Pulzujúci alebo diskontinuálny výkon môže byť dosiahnutý aj s použitím komponentov systému MEMS, ako sú ventily alebo čerpadlá. Pridaním hydrogélu, biosenzorov a ďalších funkcií, ktoré reagujú na zmenu lokálneho prostredia zariadenia dokážu povoliť jednému MEMS fungovať integrovaným spôsobom so svojim biologickým okolím. Kombinácia nových disciplín s novými biokompatibilnými polymérmi pre tkanivové inžinierstvo a podávanie liekov, spolu s novými technikami pre vzorkovanie živých buniek môže viesť k plne integrovaným inteligentným zariadeniam na základe MEMS. Tieto zariadenia by mohli nahradiť celé biologické systémy a byť zodpovedné za poskytovanie správnych stimulov v správnom čase, ako je napríklad dať liek alebo elektrický impulz.

Endoskopická kapsula, zahrňujúca miniatúrnu kameru, predstavuje atraktívnu alternatívu tradičnej techniky. Tradičné klinické prístroje sú pasívne zariadenia, ktoré majú pohyb riadený prirodzenou peristaltikou (pohybom svalov alebo čriev) a majú tú nevýhodu, že pozbierané snímky nemusia zobrazovať dôležité oblasti gastrointestinálneho traktu (žalúdku a čriev) pretože lekár nie je schopný riadiť pohyb a orientáciu kapsule. Aktívne pohyblivé zariadenia by mohli umožniť plnú kontrolu riadenia endoskopickkej kapsule. Lekár by mal byť schopný vychýliť kapsulu do zaujímavých patologických oblastí a splniť lekárske úlohy. Endoskopická kapsula

ponúka nové možnosti pre vyšetrenia, diagnostiky a terapeutické endoskopické postupy [5].

#### **4. Záver**

Pokroky v senzorových technológiách a inovácie v nositeľnej technike priniesli rad nových zariadení pripravených podporiť inovácie v lekárskejších a profesionálnych aplikáciách, vrátane diagnostiky, chirurgie, vzdialeného sledovania pacienta vo vnútorných a vonkajších priestoroch. Bezdrôtové lekárske prístroje poskytujú nové rozmery pre tieto aplikácie. Biosensory v kombinácii s bezdrôtovými zariadeniami môžu v "inteligentnom prístroji" vzdialene sledovať zdravotný stav človeka doma alebo pacienta v operačnej sále. U každého pacienta je možné bezdrôtovo monitorovať a ovládať viac zdravotníckych prístrojov pomocou jediného zariadenia v priebehu zásahu alebo po chirurgických operáciách.

Zranený jednotlivec môže byť sledovaný počas prepravy do nemocnice ako aj priamo v nemocnici pomocou nositeľného zariadenia alebo systému. Rozsah monitorovania sa môže pohybovať od intenzívneho (každých 15 minút alebo menej) do diskontinuálne invazívneho alebo neinvazívneho. V extrémnych pracovných podmienkach ako sú práce v baniach, na ropných pracovných plošinách alebo pri katastrofických udalostiach (havárie autobusov, lietadiel, alebo lodí) systémy SWS môžu poslať alarm do riadiaceho strediska a tak efektívne podporovať poskytovanie včasnej zdravotnej starostlivosti.

#### **PodĎakovanie**

Príspevok vznikol s podporou projektu „Centrum výskumu závažných ochorení a ich komplikácií“ ITMS 26240120038.

#### **Literatúra**

1. Stanberry B. Legal ethical and risk issues in telemedicine. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 2001;1:225-33.
2. Paré G, Moqadem K, Pineau G, St-Hilaire C. Effets du télémonitorage dans la prise en charge du diabète. *Médecine des Maladies Métaboliques* 2010;4:257-62.
3. Roggen D, Magnenat S, Waibel M, Tröster G. Wearable computing. *IEEE Robotics & Automation Magazine* 2011;18(June (2)):83-95.
4. Malic L, Brassard D, Veres T, Tabrizian M. Integration and detection of biochemical assays in digital microfluidic LOC devices. *Lab on Chip* 2010;10:418-31.
5. Ciuti G, Mencassi A, Dario P. Capsule endoscopy: from current achievements to open challenges. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering* 2001;4:59-72.

---

Spoluautorom článku je Fedor Lehocki

---

