

Análisis de tecnologías de transporte con perfiles médicos especializados para el estándar ISO/IEEE11073

A.Aragüés¹, J. Almingol¹, J.D. Trigo¹, J. Escayola¹, M. Martínez-Espronceda², I. Martínez¹, J. García¹

¹Instituto de Investigación en Ing. Aragón (I3A) - Univ. Zaragoza (UZ), c/ María de Luna, 1. 50018 - Zaragoza.

²Dep. Ingeniería Eléctrica y Electrónica - Univ. Pública Navarra (UPNA), Campus de Arrosadía s/n. 31006 - Pamplona.

{aaragues, jalmingol, jtrigo, javier.escayola, imr, jogarmo}@unizar.es, miguel.martinezdeespronceda@unavarra.es

Resumen

Este artículo analiza las diferentes tecnologías de transporte que han desarrollado un perfil médico especializado para la norma ISO/IEEE11073 Personal Health Devices (X73PHD). Actualmente, dichas tecnologías son tres: para comunicaciones cableadas, el perfil USB Personal Health Device Class (USB PHDC) y, para comunicaciones inalámbricas, los perfiles Bluetooth Personal Health Device (BT HDP) y ZigBee Health Care Profile (ZHC). En el artículo se discuten las principales características de estos tres perfiles así como sus implementaciones y sus posibilidades futuras.

1. Introducción

La familia de normas ISO/IEEE11073 (X73) *Personal Health Devices* (X73PHD) [1] es el estándar internacional que garantiza interoperabilidad para la comunicación de dispositivos médicos personales. Incluye las normas X73-104zz, que definen las especializaciones de cada uno de los dispositivos personales, y la norma X73-20601, que define un protocolo para el intercambio de datos de salud personal independiente de la tecnología de transporte. El requisito que impone es que dichas tecnologías de transporte pertenezcan a lo que en la familia de normas X73 se denominan transportes de tipo 1, esto es, tecnologías de transporte que ofrecen tanto servicios de tipo “best-effort” como servicios de tipo “reliable”.

La estructura genérica de la pila de protocolos X73PHD se muestra en la Figura 1. Las capas inferiores (1-4 del modelo OSI) corresponden a las diferentes tecnologías de transporte existentes y las capas superiores (5-7 del modelo OSI) dan cabida a las funcionalidades propias de X73PHD (que englobarían el protocolo de comunicación X73-20601 y las especializaciones X73-104zz) y a las de nivel de aplicación fuera del alcance de X73PHD.

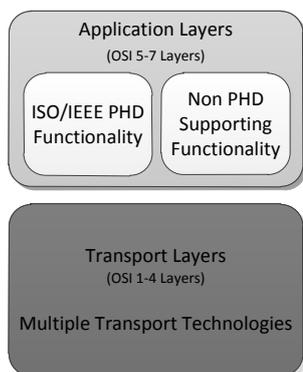


Figura 1. Pila genérica de protocolos de X73PHD

Este artículo presenta las tres tecnologías de transporte que han desarrollado un perfil médico especializado para X73PHD: USB *Personal Health Device Class* (USB PHDC) en la Sección II, y Bluetooth *Personal Health Device* (BT HDP) y ZigBee *Health Care Profile* (ZHC) en las Secciones III y IV. Un análisis comparado de los tres perfiles se presenta en la Sección V mientras que un resumen de las implementaciones se presenta en la Sección VI. Las conclusiones y líneas futuras se discuten en la Sección VII.

2. USB Personal Health Device Class (USB PHDC)

Universal Serial Bus (USB) es una especificación para establecer una comunicación cableada entre un *host* y toda una gama de dispositivos cliente, por este motivo el sistema USB tiene un diseño asimétrico *master-slave*. USB 2.0, lanzada en abril de 2000 y estandarizada a finales de 2001 por USB *Implementers Forum* (USB IF), es la especificación más común en los equipos pudiendo alcanzar velocidades de transferencia de 480 Mbit/s. USB fue la primera tecnología que publicó un perfil compatible con X73PHD, ya que antes los dispositivos de salud USB estaban obligados a implementar métodos propietarios para transmitir información y usar algunas de las clases definidas. Típicamente se empleaba la clase *Human Interface Device* (HID), definida para ratones y teclados, o bien la clase *Vendor Specific*, que requería de *drivers* propietarios específicos para cada dispositivo.

De esta necesidad se forma en abril del 2007 el USB *Personal Healthcare Working Group* que publica el 8 de noviembre del mismo año la clase USB *Personal Healthcare Device Class* (PHDC) [2], que sigue vigente a día de hoy sin revisión alguna. El objetivo de una especificación de clase es permitir la interoperabilidad sin fisuras entre el USB *host* y aquellos dispositivos pertenecientes a la clase, en este caso dispositivos de salud personal (agentes X73PHD). La especificación describe la arquitectura completa, como se detalla en la Figura 2 (a), y los descriptores y comandos que un dispositivo de salud y un *host* deben poder soportar en virtud de intercambiar datos médicos sobre un bus USB. Un descriptor es una estructura de datos que contiene, en una serie de campos, información sobre el dispositivo y sus características. De este modo, el descriptor del dispositivo, por ejemplo, contiene información sobre la clase del dispositivo (por ejemplo, PHDC) así como

información sobre el fabricante, número de serie, etc. El estándar USB PHDC define una jerarquía de descriptores que se pueden clasificar en descriptores estándar, de especificación de clase y opcionales. La jerarquía de descriptores USB PHDC se detalla en la [Figura 2 \(b\)](#).

Dentro de la jerarquía, se definen *endpoints* como una entidad lógica que se encuentra en el dispositivo y con el que el *host* establece canales lógicos denominados tuberías o *pipes*. Cada uno de ellos tiene su propio descriptor de calidad de servicio (*Quality of Service*, PHDC QoS) así como un descriptor opcional de metadatos (PHDC *meta-data*). La transmisión de metadatos se realiza mediante el envío de una transacción inicial antes de enviar los datos que proporciona separación entre ambos. Dicha transacción se denomina preámbulo y es una característica opcional por lo que implementarla o no es potestad del fabricante. Sin embargo un *host* está obligado a soportar siempre ésta característica. Además, USB PHDC define un conjunto de *endpoints* (tres obligatorios y un cuarto opcional) que implementan los requerimientos de QoS mencionados:

- *Control endpoint*: requerido por USB PHDC para la tubería por defecto de control bidireccional. Dichos *endpoints* están siempre accesibles mientras que los demás sólo lo estarán una vez hayan sido configurados por el *host*.
- *Bulk Out endpoint*: proporciona un camino para las transferencias desde el *host* al dispositivo.
- *Bulk In endpoint*: proporciona un camino para las transferencias desde el dispositivo al *host*.
- *Interrupt In endpoint* (opcional): proporciona un camino hacia el *host* cuando sea necesario enviar datos de un modo continuo. Sólo se usa para el tipo de QoS *Low Good*.

Por último, el procedimiento de comunicación USB PHDC es el siguiente: cuando un dispositivo se conecta al bus USB, el *host* inicia el proceso de enumeración, lee el descriptor de dispositivo, asigna al dispositivo un número único de 0 a 127 y, si el dispositivo es soportado por el *host*, se cargan los *drivers* de comunicación apropiados en función de la clase a la que pertenezca el dispositivo.

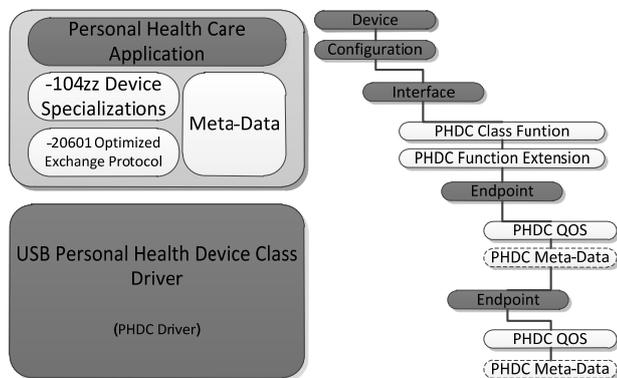


Figura 2. (a) Pila de protocolos X73PHD sobre USB PHDC y (b) jerarquía de descriptores USB PHDC

3. Bluetooth *Health Device Profile* (BT HDP)

Bluetooth es una especificación para redes inalámbricas de área personal (*Wireless Personal Area Networks*, WPAN) que posibilita la transferencia de datos entre dispositivos mediante un enlace de radiofrecuencia en la banda reservada para uso no comercial (2400-2500MHz) sin necesidad de licencia siempre que se respete el límite de potencia. La especificación define una pila de protocolos y una serie de perfiles. Los perfiles son guías que indican los procedimientos por los que los dispositivos Bluetooth se comunican entre sí para los diferentes tipos de uso. Existe un amplio abanico de perfiles (perfil de dispositivo de interfaz humana, perfil de telefonía inalámbrica, perfil de puerto serie, etc.). Cada perfil incluye, como mínimo, información sobre las características concretas de la pila Bluetooth utilizada por el perfil, así como las posibles dependencias de otros perfiles y propuestas del formato de nivel de aplicación. Al seguir las directrices proporcionadas por los perfiles los desarrolladores pueden crear aplicaciones compatibles con todos los dispositivos que se ajusten al perfil. Típicamente los dispositivos médicos comerciales con tecnología Bluetooth hacían uso de formatos propietarios no publicados sobre el perfil de puerto serie (*Serial Port Profile*, SPP).

Para resolver estas cuestiones, Bluetooth *Special Interest Group* (SIG) crea en 2006 un grupo de trabajo (*Medical Working Group*, MedWG) con objeto de diseñar un perfil específico para dispositivos de salud personal. El resultado de este trabajo fue la publicación en Junio de 2008 del perfil Bluetooth *Health Device Profile* (BT HDP) [3] junto con un nuevo protocolo específico *Multi-Channel Adaptation Protocol* (MCAP). HDP define los requisitos que deben implementar los dispositivos certificados como Bluetooth *Healthcare and Fitness*. Así, el perfil es dependiente de los protocolos MCAP, *Logical Link Control and Adaptation Protocol* (L2CAP) y *Service Discovery Protocol* (SDP) junto con el perfil *Device ID* (DI) y algunos procesos del perfil *Generic Access Profile* (GAP). MCAP coordina la creación de un canal de control y uno o más canales de datos. SDP se utiliza para descubrir otros dispositivos Bluetooth y sus servicios a través de un registro que se anuncia a través del perfil DI. El perfil GAP se encarga de procesos comunes a todos los perfiles, tales como autenticación y cifrado. L2CAP se encarga de la multiplexación de todos los protocolos superiores, del control de flujo y QoS, y de la retransmisión, segmentación y reensamblado de todos los paquetes. Finalmente, HCI describe comandos y eventos compatibles con todas las implementaciones *hardware* de un módulo Bluetooth. A nivel de aplicación, HDP define como obligatorio el uso del X73-20601 como único protocolo para el intercambio de datos entre dispositivos. Además, establece las denominadas *Device Data Specializations* compatibles con este protocolo. La pila completa de protocolos se muestra en la [Figura 3](#).

En el perfil HDP los términos agente y manager se sustituyen por *source* y *sink* respectivamente, dado que los agentes que captan las medidas fisiológicas son las fuentes de datos y el manager el consumidor de dichos

datos. El procedimiento de comunicación se inicia cuando uno de los dos dispositivos (*source* o *sink*) establece un canal de control. Este canal sólo se utiliza para tráfico MCAP y ambos dispositivos pueden utilizarlo para coordinar la creación de uno o más canales de datos por el que se intercambia el tráfico X73PHD. Finalmente, uno de los extremos finaliza la conexión; bien cerrando primero los canales de datos y después el canal de control, o cerrando directamente el canal de control que produce el cierre automático de los canales de datos.

4. ZigBee Health Care Profile (ZHC)

ZigBee, al igual que Bluetooth, es una tecnología para redes inalámbricas de área personal WPAN. Se trata de un conjunto de protocolos que operan sobre el estándar IEEE 802.15.4, ya que éste sólo define el nivel físico y el control de acceso al medio. Se consigue así una solución completa enfocada a aplicaciones que requieran una baja tasa de transmisión, bajo coste, larga duración de las baterías y cifrado de la información. Al igual que Bluetooth, opera en la banda ISM de 2.4GHz, pudiendo hacerlo también en la de 868MHz en Europa. La tasa de transmisión máxima es de 250kbits/s frente a los 3Mbits/s de Bluetooth, pero el número máximo de nodos en la red es de 65535 frente a los 8 de una *piconet* Bluetooth. El *hardware* es un 90% más sencillo y presenta un consumo mucho más reducido logrando autonomías de varios años.

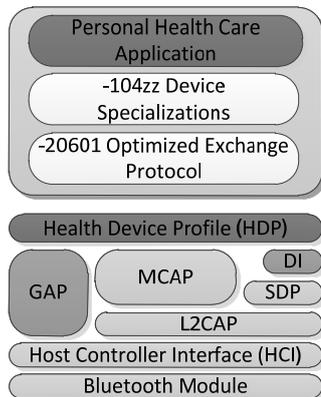


Figura 3. Pila de protocolos X73PHD sobre BT HDP

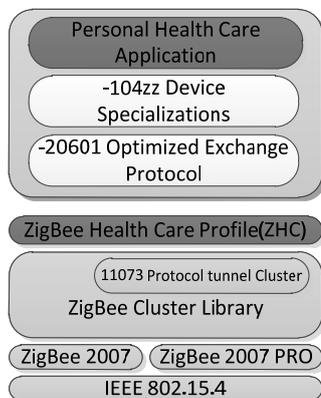


Figura 4. Pila de protocolos X73PHD sobre ZHC

ZigBee ha sido, por el momento, la última de las tecnologías de transporte en publicar un perfil de salud que utiliza X73PHD a nivel superior: *ZigBee Health Care Profile (ZHC)* [4], aprobado por *ZigBee Alliance Board of Directors* en Marzo de 2010. Este perfil ZHC proporciona una descripción de los dispositivos mediante *clusters* junto con el esquema de comunicación dentro de la red y los protocolos utilizados. Los *clusters* contienen un conjunto de atributos que representan el estado del dispositivo junto con los comandos que posibilitan la comunicación. Además, para crear un túnel de datos compatible con X73PHD, se han desarrollado una serie de comandos específicos agrupados en la denominada *11073 Protocol Tunnel Cluster Library*. La pila completa de protocolos se muestra en la [Figura 4](#).

En el procedimiento de comunicación ZHC se establecen dos túneles o *X73PHD tunnels*. En uno, el manager actúa de servidor y el agente de cliente mientras que, en el otro, los roles son los recíprocos. Para iniciar la comunicación el manager comprueba si un agente posee un servidor X73PHD establecido. En ese caso, generará una petición de conexión y el agente contestará con una notificación de estado *connected* a partir de la cual podrán intercambiar tramas X73PHD.

La adhesión al perfil permite a los fabricantes obtener la certificación ZigBee que garantiza interoperabilidad con los dispositivos de otros fabricantes. Además el hecho de que todos los perfiles se definan usando *clusters* de la *ZigBee Cluster Library (ZCL)* posibilita la reutilización de los *clusters* usados por varios perfiles.

5. Análisis de X73PHD sobre los perfiles médicos USB, Bluetooth y ZigBee

En primer lugar, para la comunicación interoperable entre USB PHDC en las capas inferiores con X73PHD en las capas superiores, se asumen las siguientes suposiciones:

- Los datos se envían y reciben en tramas X73PHD (*Application Protocol Data Units, APDU*) no superiores a 63 kBytes.
- USB PHDC puede enviar y recibir datos de manera opaca. En caso de que se necesite conocimiento sobre los datos enviados, esta información se facilita como metadatos junto con los datos reales.
- Dado que USB PHDC implementa una conexión cableada, se asume que la seguridad de los datos enviados está garantizada en la capa física.
- En caso de existir diferentes canales en una misma asociación *device/host*, la información de QoS para cada uno de los canales se especificará de manera independiente en forma de metadatos.
- Se usarán los siguientes tipos de calidad de servicio para describir latencia y fiabilidad (cada una con código diferente en el descriptor de QoS): *Low Good, Low Medium, Medium Better, Medium Better, High Best y Very High Best*.

En segundo lugar, las principales ventajas de utilizar BT HDP sobre otros perfiles genéricos que se han estado usando en aplicaciones de e-Salud son las siguientes:

- Método inalámbrico estandarizado para descubrir dispositivos mediante la definición de un registro estándar para SDP que contiene campos necesarios para definir un servicio conforme a BT HDP.
- Canal de control robusto que requiere del empleo de nuevas capacidades de L2CAP como son: modo de retransmisión mejorado (*Enhanced Retransmission Mode*, ERTM) y secuencias de comprobación de trama (*Frame Check Sequence*, FCS).
- Configuración flexible e independiente de cada uno de los canales de datos que pueden ser de tipo fiable “reliable” (si utilizan el modo ERTM del protocolo L2CAP) o de tipo “stream” (si utilizan *Streaming Mode* (SM) del protocolo L2CAP).
- Mecanismo de reconexión optimizado. Permite retener el estado del sistema y elimina pasos redundantes en la reconexión. Este procedimiento reduce el consumo medio.
- Optimización para dispositivos médicos con pocos recursos, ya que posee un conjunto reducido de comandos sencillos.
- Autenticación y cifrado.
- Sincronización precisa de reloj mediante el empleo de *Clock Synchronization Protocol* (CSP). No obstante, la implementación de este protocolo es opcional y no está presente en todos los dispositivos. La sincronización conseguida puede llegar a tener precisión de microsegundo.

Por último, ZHC presenta algunas particularidades con respecto a los dos perfiles anteriores:

- Permite indicar la ubicación en la que se instala un dispositivo mediante una serie de códigos predefinidos (baño, cocina, dormitorio, etc.).
- Permite estimar la posición de un dispositivo en función de la señal recibida.
- Permite a los fabricantes incluir funcionalidades no estándar mediante *clusters* específicos.
- Permite a los dispositivos enviar voz mediante el empleo del *Voice Over ZigBee Cluster*.
- Dentro de una red *ZigBee* pueden existir hasta tres tipos de dispositivos: coordinador, *router* y dispositivo final. El coordinador (*ZigBee Coordinator*, ZC) controla la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos, y debe existir uno por red. El *router* (*ZigBee Router*, ZR) interconecta dispositivos separados en la topología de la red. El dispositivo final (*ZigBee End Device*, ZED) puede comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un *router*), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. Este último tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo aumentando la vida media de sus baterías.

6. Implementaciones

La introducción de dichos perfiles en los dispositivos de mercado está estrechamente ligada a *Continua Health Alliance* [5], una coalición abierta y sin ánimo de lucro de compañías relacionadas con las tecnologías sanitarias. Continua ha adoptado estos perfiles de transporte en sus directrices de diseño denominadas *Continua Guidelines*.

Hoy son pocos los dispositivos que incorporan BT HDP [5] y sólo existen dos con USB PHDC [6], [7], todos ellos de empresas pertenecientes a Continua y en proceso de certificación. Continua ha desarrollado perfiles de USB PHDC y BT HDP para Windows, Linux y entornos embebidos. Por otro lado, existen otras empresas que han desarrollado otras implementaciones de pilas con soporte BT HDP: *Jungo BTware* [8], diseñada para sistemas empujados de bajo consumo; *Stollmann BlueCode+* [9], diseñada con una arquitectura independiente de la plataforma; *Toshiba Bluetooth Stack* [10], para Windows y certificada por Continua; *Ethermind Bluetooth Stack* [11], desarrollada por la empresa *Mindtree* para sistemas empujados y otras arquitecturas; y *BlueZ* [12], implementación *open source* para Linux desarrollada en colaboración con el proyecto *Morfeo OpenHealth* [13].

7. Conclusiones y líneas futuras

En este artículo se han presentado las tres tecnologías de transporte que han desarrollado un perfil médico para X73PHD: USB PHDC, BT HDP y ZHC. Cada una de ellas presenta características y funcionalidades específicas que sería interesante analizar para qué casos de uso son más adecuadas de entre los recomendados por los organismos internacionales: salud y bienestar, seguimiento y autocontrol de la propia enfermedad, enfermedades crónicas y teleasistencia domiciliaria para la tercera edad. Por otro lado, existen otras tecnologías inalámbricas de nueva generación interesantes de integrar en un futuro como: *IPv6 over LoW Power wireless Area Networks* (6LowPAN), ANT+, *Wireless USB* (WUSB), *IntraBody Communications* (IBC) o *Ultra Wide Band* (UWB).

Agradecimientos

Los autores agradecen a Pedro de las Heras y Santiago Carot (Universidad Rey Juan Carlos I) su ayuda y apoyo. Este trabajo ha sido parcialmente subvencionado por los proyectos TIN2008-00933/TSI y TIN-2009-08414 de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) y Fondos Europeos para el Desarrollo Regional (FEDER), y TSI-020302-2009-7 y TSI-020302-2009-89 Plan Avanza I+D del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Referencias

- [1] ISO/IEEE11073 - Personal Health Devices standard (X73PHD). Health Informatics. [P11073-00103. Technical report-Overview] [P11073-104zz. Device specializations] [P11073-20601. Application profile – Optimized exchange protocol]. *IEEE Standard Association*. <http://standards.ieee.org>. 1st Ed. 2009. [07/10]
- [2] Universal Serial Bus Device Class Definition for Personal Healthcare Devices (USB PHDC) release 1.0. *USB Implementers Forum Inc.* <http://www.usb.org>. 1st Ed. 2007. [07/10]
- [3] Bluetooth Health Device Profile (BT HDP) version 1.0 revision 00 [Multi-Channel Adaptation Protocol (MCAP)][Implementation Guidance Whitepaper]. *Bluetooth Special Interest Group (SIG)*. <http://www.bluetooth.com>. 1st Ed. 2008. [07/10]
- [4] ZigBee Health Care Profile (ZHC) specification version 1.0 revision 15. *ZigBee Alliance*. <http://www.zigbee.org>. 1st Ed. 2010. [07/10]
- [5] Continua Health Alliance. <http://www.continuaalliance.org>. [07/10]
- [6] Continua's First Certified Product - Nonin 2500 PalmSAT® Pulse Oximeter. <http://www.continuaalliance.org/certified-products/nonin-2500-palmsat%C2%AE-pulse-oximeter.html>. [07/10]
- [7] Roche Accu-Check Smart Pix Device Reader. <http://www.continuaalliance.org/certified-products/roche.html>. [07/10]
- [8] Jungo BTware. <http://www.jungo.com>. [07/10]
- [9] Stollmann BlueCode+. <http://www.stollmann.de>. [07/10]
- [10] Toshiba Bluetooth. <http://aps2.toshiba-tro.de/bluetooth>. [07/10]
- [11] Ethermind Stack. <http://www.mindtree.com>. [07/10]
- [12] BlueZ. <http://www.bluez.org>. [07/10]
- [13] Morfeo OpenHealth. <http://openhealth.morfeo-project.org>. [07/10]