



ALTHIS: Uçtan Uca Bütünleşik Bir Uzaktan Hasta Takip Sistemi Tasarımı ve Diyabetik Hastalar için Durum Çalışması

ALTHIS: Design of An End to End Integrated Remote Patient Monitoring System and a Case Study for Diabetic Patients

Adnan KAVAK and A. Burak İNNER
Department of Computer Engineering
Kocaeli University
İzmit, Kocaeli, Turkey
dr.adnankavak@gmail.com, binner@kocaeli.edu.tr

Özetçe—Gerçeklenmesi ve yaygın kullanımı bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmelerle mümkün hale gelebilecek olan uzaktan hasta takibi (UHT) sistemi teletıp ve hasta bakımı alanında yeni bir kavramdır. UHT’de hastalığa bağlı olarak, sürekli ve gerçek zamanlı olarak vital ölçüm sonuçlarının izlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, hastaların vital ölçüm değerlerinin gerçek zamanlı olarak hastane bilgi sistemine aktarılması, efektif hasta doktor etkileşiminin sağlanması, kritik durumlarda gerekli bildirimlerin yapılması (hasta acil çağırısı, hastaya veya yakınına anormal vital değer tespitinde sistem uyarısı, vb.) amacıyla geliştirdiğimiz uçtan uca uzaktan hasta takip sisteminin (ALTHIS) tasarımı, geliştirilmesi ve bileşenleri açıklanmaktadır. Bu sistem, tasarım ve geliştirmesini yaptığımız dört ana bileşenden oluşmaktadır: Android veya IOS mobil cihazlar üzerinde çalışan “Hasta Yardımcı Modülü (HYM)” mobil uygulamaları, dokunmatik PC üzerinde çalışan “Ölçüm İstasyonu (ÖLÇİS)” evrensel windows platformu uygulama yazılımı ile diğer hastane bilgi sistemleriyle bütünleşik çalışabilen “Sunucu ve Gözlem Sistemi (SGS)” yazılımı, “Bilekten Takılabilir Hasta İzleme Modülü (BTHİM)” donanımı. ALTHIS uygulama çalışması olarak diyabet hastalarının kan şekeri ölçümlerinin takibi üzerinde durulmuştur. Ölçümlere göre, hastaların insülin kullanımı için doktor merkezli bir karar destek sistemi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler —diyabet takip, hasta takip, karar destek, mobil uygulama, teletıp

Abstract— Remote patient monitoring (RPM) is the new concept in the field of healthcare and telemedicine, implementation of which is enabled by the developments in the information and communication technology. In RPM, real time and continuous monitoring of vital parameters of a patient is required. In this study, framework architecture and components of an end-to-end RPM referred to as ALTHIS is explained, which we have developed for the purpose of real time transfer of vital parameters to hospital information systems, for effective doctor patient interaction, for making necessary notifications under critical situations (emergency call notification from patient, system warnings to patient or caregiver when anomaly detected in vital parameters, etc). This system is comprised of four main components that we have designed and developed: Mobile application software “patient assistant module (PAM)” running on Android and IOS mobile device, “Measurement Station (MESTA)” Windows store software running on touchscreen PC, and “Server and Monitoring System (SEMS)” running on a server that is located at the hospital and works in

interaction with other hospital information systems, and “Wearable Patient Monitoring Module (WPMM)”. As an application study of ALTHIS, we consider monitoring of glucose measurements of diabetic patients. Based on glucose measurements, a doctor centric decision support mechanism has been implemented.

Keywords — diabet monitoring, patient monitoring, decision support, mobile application, telemedicine.

I. GİRİŞ

Tıbbi bilgi ve hizmetin elektronik ortamda taşınarak bilgi transferi yapılması, ayrıca hastanın gerçek zamanlı olarak uzak merkezden yönetilmesi teletıp olarak tanımlanmıştır [1]. Teletıp servisleri bilgilerin depolanıp sonradan değerlendirildiği “kaydet ve gönder”, “uzaktan kontrol” ve “interaktif” olarak gruplandırılabilir [2]. Uzaktan hasta takibi (UHT) sistemi ise çeşitli ölçüm cihazlarının kullanılarak hastaya ait vital parametrelerin ölçülmesi, sağlık uzmanının gerçek zamanlı izlemesi veya sonradan değerlendirebilmesi için sağlık veri merkezine aktarılması, hastanın tıbbi verilerinin uzaktan erişilmesi anlamına gelir [3]. Doktor veya sağlık görevlileri açısından, gözlem altında tutulması gereken hastaya ait vital parametrelerin daimi olarak izlenebilmesi önemlidir. Çünkü, vital ölçüm verilerinin zamanında elde edilmesiyle hasta geçmişinin ne olduğunun bilenebilmesi, bir günden diğer güne değişimin nasıl olduğunun değerlendirilebilmesi, kritik bulgulara ulaşılmasıyla, hasta için daha erken müdahale edilmesi ve tedavi uygulanması mümkün olabilecektir. UHT sistemleri, sürekli gözetim altında tutulması gereken fakat bu gözetimin hastane dışında kalarak da yapılabileceği hastalar için büyük kolaylık sağlamaktadır. Akıllı telefon teknolojileri, 4G gibi yüksek veri hızına sahip mobil iletişim sistemleri, evde bakıma yönelik gözlem çözümleri, ve ölçüm cihazı teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak, UHT sistemi geliştiriciler ve servis sağlayıcılar açısından daha kolay gerçekleştirilebilir ve daha yaygın kullanılabilir hale gelmiştir [4]. Kronik hastalıklardan diyabet, glisemik takip ve eğitimin yanı sıra komplikasyonların takibinde de UHT uygulamalarından faydalanılabilir. Uzaktan gerçek zamanlı takip ve doktora kolay ulaşabilme sonucu glisemik kontrol hedefleri sağlanabilir ve diyabet takibi efektif olarak kontrol altına alınabilir [5].

Bu çalışmada geliştirmiş olduğumuz uçtan uca, bütünleşik, kapsamlı bir uzaktan hasta takip sistemi sunulmaktadır.



Makalenin devamında sistem mimarisi, sistem bileşenleri açıklanmaktadır. Ayrıca geliştirilen sistemin diyabet hastalarının takibinde uygulaması uygulama çalışması olarak sunulmaktadır.

II. ALTHİS: UÇTAN UCA UZAKTAN HASTA TAKİP SİSTEMİ

A. Sistem Mimarisi

Projede geliştirilen uçtan uca uzaktan hasta takip sistemi (ALTHİS), sabit ve mobil haldeki hastaların vital ölçüm değerlerinin (tansiyon, şeker, nabız, SPO2, ateş, EKG) hastanedeki merkezi sunucuya aktarabileceği ve gerekli kritik bildirimlerin sistem veya doktor tarafından hastaya iletebileceği birçok alt modülden oluşan bütünlük bir hasta takip sistemidir. Bu sistem hastaya ait ölçüm değerlerini Android veya IOS işletim sistemli akıllı telefonlar üzerinden ya da sabit all-in-one türü bir bilgisayar üzerinden internet bağlantısı ile merkezi sunucuya aktarmaktadır. All-in-one tipi PC'de geliştirilen ve evde vb. sabit durumdaki hastaların kullanımı için tasarlanan yazılım "Ölçüm İstasyonu (ÖLÇİS)" olarak adlandırılmaktadır. Hem sabit hem de gezinebilir fakat vital değerleri gözlem altında olması gereken hastaların kullanımına yönelik Android ve IOS akıllı telefonlar üzerinde geliştirilen mobil uygulama yazılımı ise "Hasta Yardımcı Modülü (HYM)" olarak adlandırılmaktadır. Sisteme ait genel mimari Şekil 1'de verilmiştir. Ölçülen tansiyon, nabız, kan oksijeni, kan şekeri, EKG gibi vital değerler HYM veya ÖLÇİS aracılığı alınır, burada lokalde kaydedilir aynı zamanda hastanede konuşlandırılan sunucuya aktarılmaktadır. Bu sunucu üzerinde çalışacak şekilde tasarlanıp geliştirilen yazılım ise "Sunucu ve Gözlem Sistemi (SGS)" olarak adlandırılmaktadır. SGS, HYM ve ÖLÇİS'den gelen hasta verilerinin kaydedilip değerlendirilmesini sağlamak ve diğer hastane bilgi sistemleri ile HL7 vb. protokol ile etkileşimli çalışabilmektedir.

B. Hasta Yardımcı Modülü (HYM)

Android ve IOS işletim sistemine sahip akıllı telefonlar üzerinde çalışan bir mobil uygulama olarak geliştirdiğimiz HYM, ölçülen vital parametrelerin merkezi sunucuya aktarılmasını ve aynı zamanda yerel cihaz üzerinde kaydedilmesini sağlamaktadır. Bu mobil uygulama yazılımı esas itibari ile ölçüm yapma, geçmişte kaydedilen ölçümleri görüntüleme, ve kullanıcının Sunucu-Gözlem Sistemine (SGS) kaydedilmiş hesabına otomatik bağlanma özelliklerine sahiptir. Her iki uygulama yazılımı belirli cihazlardan yapılan ölçümlerin bluetooth bağlantısı ile yerel cihaza kaydedilmesini ve aynı zamanda hücresel ağ bağlantısı ile merkezi sunucuya aktarılmasını sağlamaktadır. Bu uygulama yazılımları aynı zamanda kullanıcıya yapmış olduğu tansiyon, kan şekeri, SPO2, nabız gibi ayrıık ölçüm değerlerini manuel olarak da kaydetme opsiyonu sağlamaktadır. Mobil cihaza bluetooth protokolü ile ulaşan ölçüm sonucu veya hastanın manuel olarak girdiği ölçüm sonucu, diğer bilgilerde eklenerek Json (JavaScript Object Notation) veri tipi kullanılarak (Şekil 2) yerel cihazda kaydedilir ve SGS'ne aktarılır. Akıllı telefon üzerindeki HYM uygulamasına ait "ölçüm yap" ana ekranı Şekil 3'de otomatik veya manuel kan şekeri ölçümü Şekil 4'de gösterilmektedir. "Ölçüm yap" ana ekranında bir ölçüm

ikonuna basıldığında karşımıza çıkan seçenekte Bluetooth protokolü destekleyen cihaz seçildiğinde, telefonun bluetooth'u aktifleştirilerek cihazla eşleşme sağlanmakta ve yapılan ölçüm HYM'ye otomatik olarak kaydedilmektedir.



Şekil 1: Uçtan Uca Uzaktan Hasta Takip Sistemi (ALTHİS) Mimarisi

TC kimlik	Tarih	Saat	Dakika	Ölçüm Tipi	Ölçüm Değeri	Konum Bilgisi
-----------	-------	------	--------	------------	--------------	---------------

Şekil 2: HYM'de Oluşturulan ve SGS'ye Aktarılan Json Veri Formatı

Yapılan çalışmalarımızda farklı model cihazlara ait (Fora Care, Ihealth) Bluetooth paket çözümlemesi yapılarak HYM'ye entegre edilmiştir. Uygulamadaki manuel giriş opsiyonu sayesinde ise her türlü vital ölçüm cihazından yapılacak tansiyon, kan şekeri, nabız, SPO2 gibi ayrıık değere sahip vital değerlerin sisteme kaydedilmesi sağlanabilmektedir. HYM uygulamasında ayrıca en altta 112 butonu bulunmaktadır. Bu butona basıldığında SGS'ye hasta ad, soyad, TC, ve konum bilgisi ile acil durum kaydı bırakılmakta, bu bilgi aynı zamanda SGS tarafından SMS web servisi tetiklenerek sistemde tanımlı hasta yakını ve doktoruna SMS bilgi mesajı olarak iletilmektedir. HYM üzerindeki diğer bir alt uygulama ise "Ayarlar" ekranıdır. Bu ekrana basıldığında karşımıza çıkan SGS'ye tıkladığında kullanıcının hastanedeki SGS sunucu hesabına web servis ile otomatik giriş yapılmaktadır.

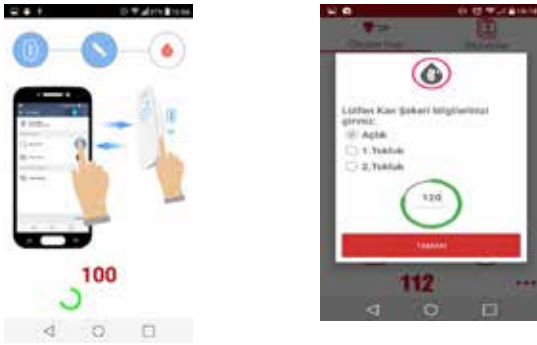
C. Sunucu Gözlem Sistemi (SGS)

SGS hasta bilgileri, hastaya ait uzaktan ölçülen sağlık verilerinin ve sistem kullanıcı bilgilerinin (doktor, operatör, sağlık personeli, hasta) saklandığı, görüntülediği ve ayrıca diğer hastane otomasyon sistemleri ile bilgi alışverişini yapabilen güvenli bir sunucu gözlem sistemidir. SGS aynı zamanda doktor tarafından hastaya gerekli bildirimlerin (mesaj, SMS) yapılabilmesini ve ayrıca kritik ölçüm değerleri alındığında hastanın tanımlı doktoruna bildirimlerin yapılabilmesini, acil durum bildirimini yapan hastaların listelenmesini sağlamaktadır. Bu çerçevede SGS modül görev, işleyiş ve teknik altyapı bakımından üç alt katmana

ayrılmıştır: Web Sunucu, Veritabanı Sunucusu, Uygulama sunucusu.



Şekil 3: HYM'de "Ölçüm Yap" Ana Ekranı (solda), Kan Şekeri Ölçümüne Basıldığında Bluetooth Destekli Cihazlardan Ölçümün Otomatik Alınmasını veya Sonucun Manuel Girilmesi Ekranı (sağda).



Şekil 4: HYM'den kan şekeri ölçümü yapılması: glukometre ile HYM'nin bluetooth eşleşmesine dayalı otomatik ölçüm (solda), herhangi bir glukometreden yapılan ölçümün manuel olarak girilmesi (sağda).

SGS geliştirmede web programlama için Visual Studio MVC, veri tabanı için Microsoft SQL Server kullanılmıştır. Veri tabanı tasarımında farklı tablolar (Operatör, Doktor, Hasta kullanıcı bilgileri, hasta-doktor bağlantı, ölçüm, hasta ölçüm plan, acil durum, mesaj, hasta risk ölçüm, konum) oluşturulmuştur. JSON web servisi gelen veriye onay verdikten sonra, Veritabanı tablosuna ölçüm aynı etiket başlıkları ile kaydedilir. Kaydedilen veride herhangi olağan dışı bir durum olursa veya karar destek sisteminde filtrelendiğinde normal durum dışına çıkmışsa, doktora SMS veya web mesaj ile bilgilendirilir. SGS'ye giriş için farklı kullanıcı rolleri tanımlanmıştır (Şekil 5).

D. Bilekten Takılabilir Hasta İzleme Modülü (BTHİM)

Proje kapsamında hastanın bileğine saat şeklinde takılabilen, donanım tasarım ve gömülü yazılım tüm geliştirme aşamalarını yaptığımız hasta izleme modülü geliştirilmiştir (Şekil 6).

$$S = \frac{1}{((2 \cdot T) + 1)} \int_{-T}^{+T} (|x(i)| + |y(i)| + |z(i)|) \quad (1)$$

Cihaz üzerindeki sensörden üç boyutlu ivme verisi denklem (1) 'deki gibi ortalaması alınarak hastanın hareket bilgisi elde

edilmektedir. Hareket bilgisi hareketsiz, yavaş, normal, hızlı olarak sınıflandırılmaktadır. BTHİM üzerinde hareket bilgisine ilave olarak, hastaya ait nabız ve sıcaklık verileri de ölçülerek HYM'ne aktarılabilmektedir.



Şekil 5:SGS Uygulaması Ana Giriş Ekranı



Şekil 6:Bilekten Takılabilir Hasta İzleme Modülü: PCB ön ve arka yüzü, kutulanmış hali

Operatör; sistemde master kullanıcı rolünde olup doktor, hasta ve operatör tipinde kullanıcı ekleyebilmekte, düzenleyebilmekte ve silebilmektedir. Duruma göre doktor ile hasta arasında atama işlemleri yapabilmektedir. Operatör, hasta verisi kontrol ve acil durum kontrolü yapabilir. Acil durumu monitör etme ve yönetme görevi operatöre verilmiştir. Herhangi bir hasta, mobil cihazından acil çağrısı yaparsa, bu acil çağrı operatörün sayfasına kırmızı renkte dinamik olarak düşer (Şekil 7). Operatör, bu bilgiyi doktor ve 112'ye yönlendirme yapabilir.

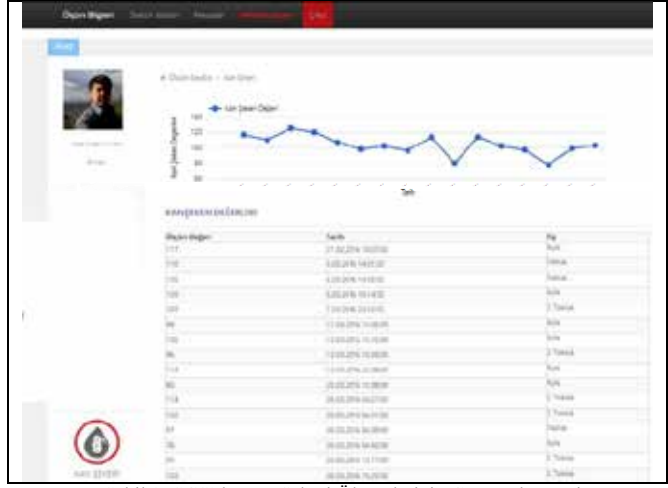
Doktor; kendi hastalarına ait kişisel ve iletişim bilgilerine ulaşabilmekte, ölçüm değerlerini grafiksel ve tablo olarak görüntüleyebilmekte, belirlenen zaman aralıkları için ölçüm raporları alabilmekte, acil durum ve karar destek sistemi için ölçüm aralıklarını risk değerler olarak girebilmekte, hasta geçmiş başlığı ile hasta için tanı, yorum yazabilmekte, yazdıklarını hastanın görmesi için izin verebilmekte, hastaya web veya SMS mesaj atabilmekte, hastaya ölçüm planı oluşturabilmektedir (Şekil 8).

Hasta; kendi ölçümlerini görüntüleyebilmekte, doktoru ile mesajlaşabilmekte, ve kendi ölçüm planını görüntüleyebilmektedir.

III. DİYABET POLİKLİNİĞİ İÇİN ALTHIS UYGULAMASI

Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Diyabet Polikliniğinde insülin kullanan şeker hastaları günlük ölçüm sonuçlarına göre, insülin dozlarını artırmaları veya azaltmaları gerekebilmektedir. Diyabet bölümünde, farklı yaşta, farklı cinsiyette, farklı saatte, farklı tip şeker ölçümleri gerektiren her hasta için kağıt form üzerinde yazılı ölçüm planı oluşturulmuştur. Hasta bu forma ölçüm bilgilerini haftalık olarak doldurmaktadır. Bu işlemler, rutin poliklinik işleyişinde hastanın kullandığı insülin tipi, hastaya sağlanan bir form ile sabah, öğlen, akşam açlık, 1.saat tokluk, 2.saat tokluk ile gece yarısı açlık kan şekeri ölçümlerini yapıp not etmeleri ve anormal bir durum olduğunda poliklinik doktorunu

bilgilendirmeleriyle sağlanmaktadır. Althis Diyabet Polikliniği uygulamasında denek şeker hastasının kendisi için oluşturulan ölçüm planına göre, kan şekeri ölçüm değerlerini cep telefonuna yüklenen HYM ile SGS'ye uzaktan kaydetmeleri sağlanmıştır. Ölçümler Şekil 8 ve 9'daki gibi görüntülenebilmektedir. SGS'deki insülin doz ayarlaması karar destek mekanizması ise aşağıdaki akış diyagramında gösterilmektedir. Althis-Diyabet karar destek mekanizmasında, doktor kendi hastası için ölçüm planını düzenleyebilmektedir. Farklı hastalar için farklı ölçüm planı hazırlanabilmektedir. Hazırlanan ölçüm planı için karar destek sistemi, hastanın tipine göre son 3 günlük kontrol yapabilmektedir. SGS-Diyabet'de günlük olarak sabah ($t=1$), öğle ($t=2$), ve akşam ($t=3$) vakitleri için, son 3 günün ölçüm sonuçları kontrol edilmekte, eğer sürekli bir yüksek ölçüm değeri tespit edilirse, doktora ve hastaya insülin dozunun artırılması gerektiği hem SMS hem web mesaj olarak bildirilmesi yapılabilmektedir. Eğer kan şekeri düşük olursa hasta ve doktora bildirilmektedir (Şekil 10).



Şekil 9: SGS'de Kan Şekeri Ölçümlerinin Görüntülenmesi



Şekil 7:SGS Operatör Kullanıcı Acil Bildirimler Ekranı



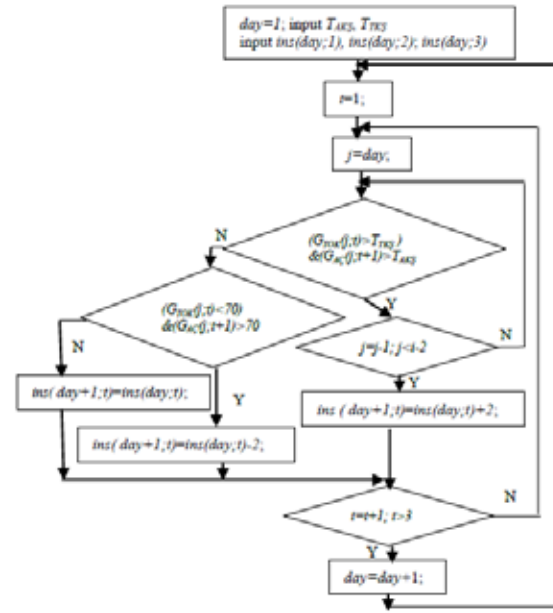
Şekil 8:SGS Doktor Kullanıcı için Hastalarını Görüntüleme Ekranı

IV. SONUÇ

Bu çalışmada tasarım ve geliştirmesini yaptığımız uçtan uca uzaktan hasta takip sistemi (ALTHIS) sunulmuştur. HYM ve ÖLÇİS gibi hastadan alınan verinin kaydedilip hastane ortamına aktarılmasını sağlayan Android, IOS, Windows Stor uygulama yazılımları ile sunucu taraflı SGS yazılımları ALTHIS sistemini oluşturmaktadır. Örnek uygulama olarak diyabet hastalarının kan şekeri ölçümü kaydı ve günlük insülin doz ayarlamalarında kullanımı üzerinde durulmuştur.

BİLGİLENDİRME

Bu çalışmada TÜBİTAK Teydeb tarafından desteklenen 1130011 nolu proje kapsamında ilk yazar Prof.Dr. Adnan Kavak'ın yürütücülüğünde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 10:ALTHIS Diyabet Uygulaması Karar Destek Akış Diyagramı

KAYNAKLAR

- [1] Perednia D. A. and Allen A., "Telemedicine technology and clinical applications", *JAMA*, 273(6): 483-488, 1995.
- [2] Bonvissuto, K. "Coming of age. Telemedicine is maturing. It can increase patient access--and may be even your income", *Med. Econ.*, 87(11): 14-22, 2010.
- [3] Sebastian, S., Jacob, N. R., Manmadhan, Y., Anand, V. R. and Jayashree. M. J., "Remote patient monitoring system", *International Journal of Distributed and Parallel Systems*, 3(5): 99-110, 2012.
- [4] Beaton, T., "The top 10 remote patient monitoring companies for hospitals", <https://mhealthintelligence.com/news/top-10-remote-patient-monitoring-solutions-for-hospitals..>, July 7, 2017.
- [5] Katalenich, B., Shi, L., Liu, S., Shao, H., McDuffie, R., Carpio, G., Thethi, T., and Fonseca, V., Evaluation of a remote monitoring system for diabetes control", *Clinical Therapeutics*, 37(6): 1216-1225, 2015.