

Verifizierung der aus EKG - und PPG-Signalen abgeleiteten/extrahierte Atemfrequenz

1. Was ist die Atemfrequenz?

Die Atemfrequenz ist definiert als die Anzahl der Atemzüge pro Minute im Ruhezustand. In der klinischen Diagnostik wird sie häufig zur Beurteilung physiologischer Parameter eingesetzt, insbesondere bei Schlaf- und Stressanalysen.

Da tragbare Geräte zur Messung von Vitalparametern immer verbreiteter werden, lassen sich Elektrokardiogramm (EKG -) und Photoplethysmographie (PPG-) Signale heute vergleichsweise einfach erfassen. Hersteller von Wearables entwickeln deshalb zunehmend Produkte, die Atemsignale aus ECG- oder PPG-Signalen ableiten.

Die aus dem ECG abgeleitete Atmung wird als EDR (ECG-derived Respiration) bezeichnet, die aus dem PPG abgeleitete Atmung als PDR (PPG-derived Respiration). Beide Verfahren bieten wesentliche Vorteile: Sie sind nichtinvasiv, ermöglichen eine komfortable Signalerfassung und gelten als sicher für den Anwender.

2. Einführung in EDR- und PDR-Methoden

Derzeit werden drei Hauptansätze zur EDR-Analyse verwendet, um Änderungen der Atemfrequenz zu erkennen.

- Amplitudenmodulation (AM): Beim Atmen verändert sich die elektrische Herzachse, wodurch sich die ECG-Amplitude ändert.
- Frequenzmodulation (FM): Die Atmung beeinflusst die Herzschlagfrequenz, wodurch respirationsbedingte Veränderungen der Herzfrequenz entstehen.
- Morphologische Veränderung durch Bewegung von Rippen und Zwerchfell: Die Atembewegung verändert Thorax und Zwerchfell und beeinflusst dadurch das ECG-Signal über myoelektrische Effekte.

Auch die PDR-Analyse zeigt drei charakteristische Veränderungen der PPG-Wellenform:

- Amplitudenmodulation (AM): Änderungen des Herzvolumens während der Atmung führen zu Veränderungen der PPG-Amplitude.
- Frequenzmodulation (FM): Die Atmung beeinflusst den Herzschlag und damit die zeitliche Struktur des PPG-Signals.
- Baseline-Modulation (BM): Änderungen des Thoraxdrucks während der Atmung beeinflussen den venösen Blutfluss und führen zu einer Verschiebung der PPG-Basislinie.

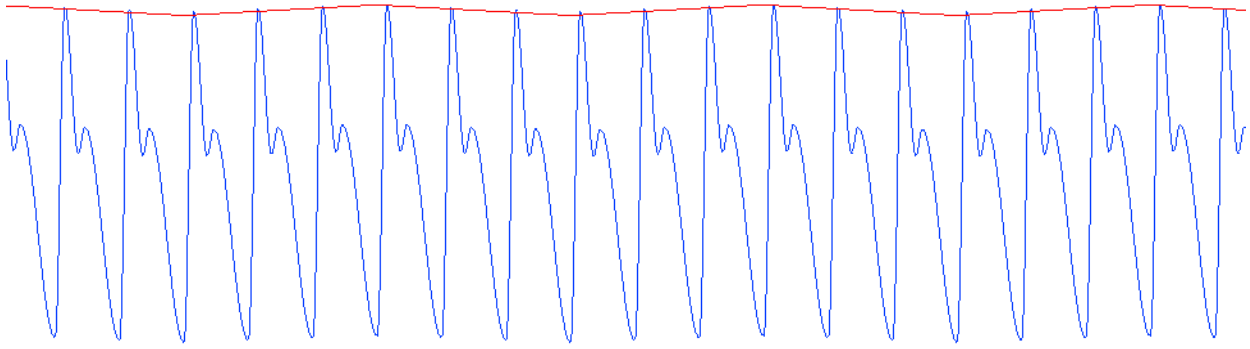


Abbildung 1. Die Atmung moduliert die Amplitude des PPG-Signals (AM).

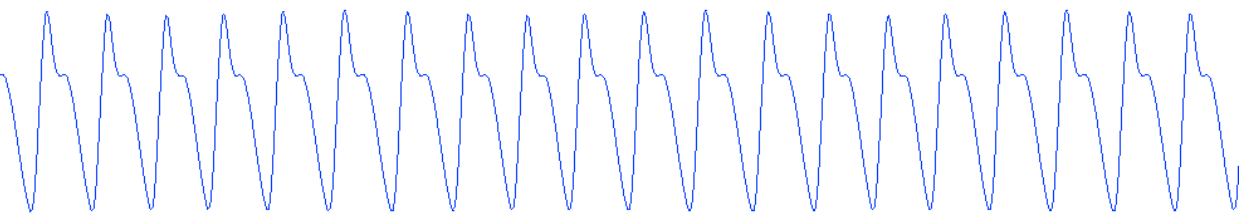


Abbildung 2. Die Atmung moduliert den Herzschlag (FM).

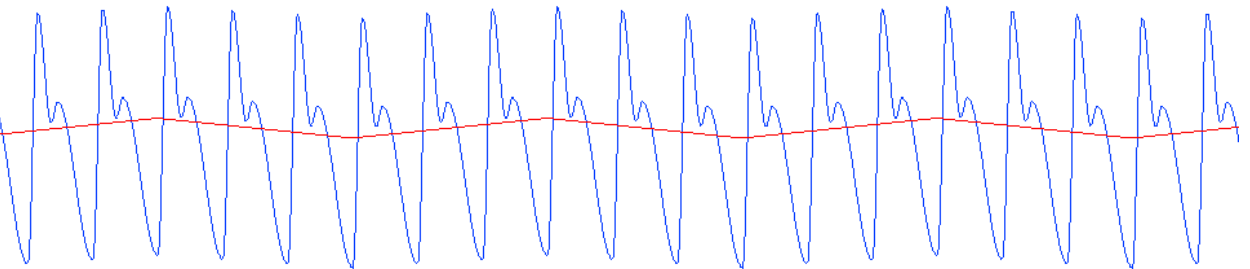


Abbildung 3. Die Atmung moduliert die Basislinie des PPG-Signals (BM).

Die EDR-/PDR-Technologie extrahiert diese drei Arten von Modulationssignalen aus dem Atemsignal und berechnet daraus die Atemfrequenz. In der Praxis verwendet ein Gerät in der Regel nur eine dieser Methoden zur Erkennung der Signaländerung.

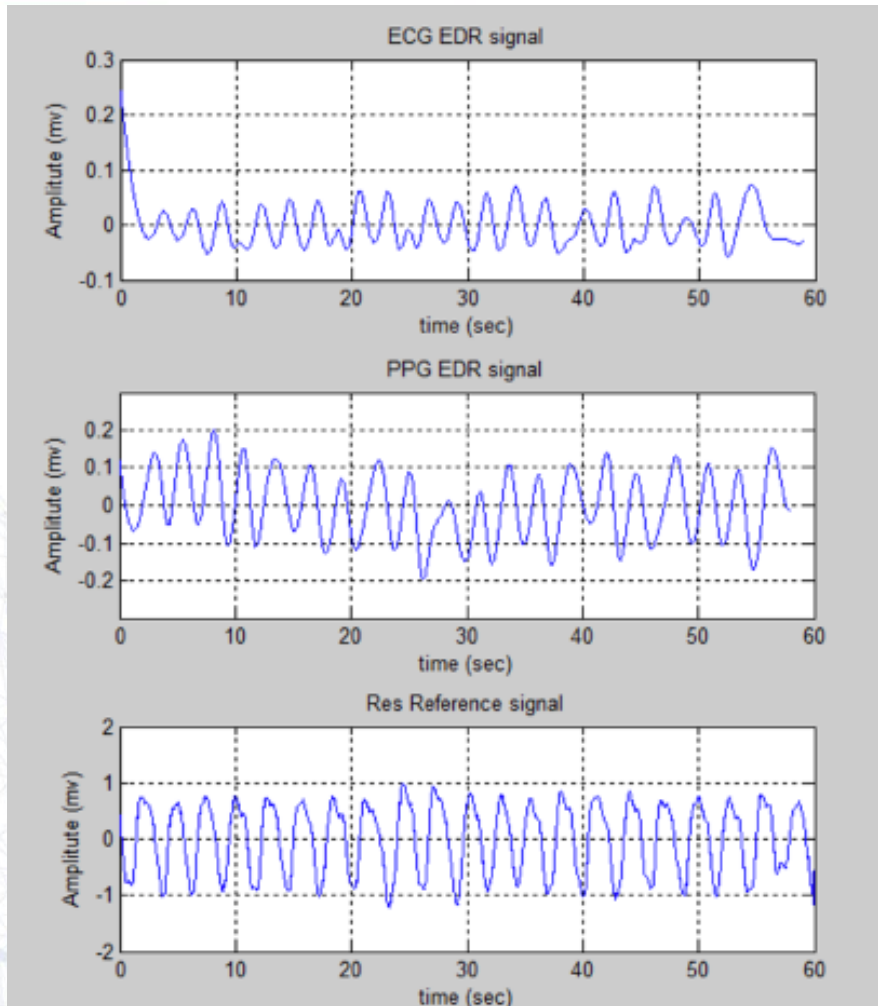


Abbildung 4. Vergleich zwischen dem aus EDR und PDR berechneten Atemsignal und dem tatsächlich gemessenen Atemsignal.

3. Wie wird die Genauigkeit von EDR und PDR verifiziert?

Bei der Entwicklung von EDR-/PDR-Algorithmen ist es notwendig, geeignete Verifizierungsmethoden festzulegen, um die Wirksamkeit der Algorithmen zu bestätigen. Der Originalartikel schlägt dafür einen zweistufigen Ansatz vor.

1. Verifizierung mit Simulationssignalen

Im ersten Schritt werden Simulationssignale verwendet, um Grundfunktionen und die Systemleistung zu verifizieren. Das WhaleTeq SECG 5.0 AIO Test System kann AM-, FM- und BM-Atemmodulationssignale an ein ECG-Gerät ausgeben.

Anwender können das geeignete Modulationssignal sowie verschiedene Parameter – darunter Expirations-/Inspirationsverhältnis, Herzfrequenz und Atemfrequenz – für die Verifizierung auswählen. Der Einstellbereich der Modulation beträgt 0 bis 16 %.

- AM: Die Amplitude der ECG-Welle verändert sich innerhalb eines Atemzyklus um 0 bis 16 % des ursprünglichen Werts.
- FM: Innerhalb eines Atemzyklus verändert sich das Intervall zwischen den Herzschlägen um 0 bis 16 % des ursprünglich eingestellten Herzschlags.
- BM: Die Basislinie driftet innerhalb eines Atemzyklus um 0 bis 16 % der ECG-Amplitude.
- Die Atemfrequenz kann auf 7 bis 150 Atemzüge pro Minute eingestellt werden.



Abbildung 5. Das WhaleTeq SECG 5.0 AIO stellt AM-, FM- und BM-Atemmodulationssignale für ECG-Geräte bereit.

2. Verifizierung mit realen Datenbanken

Im zweiten Schritt können reale ECG- und PPG-Signale verwendet werden, um die abgeleitete Atemfrequenz zu verifizieren. Laut Originalartikel stehen auf der PhysioNet-Website derzeit vier geeignete Datenbanken zur Verfügung, die Impedanz-, Temperatur- oder piezoelektrische Verfahren verwenden.

Datenbank	# der Tester	ECG-Signal	PPG-Signal	Messmethoden
CEBSDB	20	O	–	Piezoelektrisch
Fantasia	39	O	–	Nicht offengelegt
SLPDB	18	O	–	Temperatur
MIMIC II/III	10	O	O	Impedanz

Tabelle 1. Vier geeignete PhysioNet-Datenbanken zur Verifizierung der Atemfrequenz. (the table caption maybe should be on the top of the table)

Diese Datensätze können von der PhysioNet-Website heruntergeladen werden. Mit dem WhaleTeq SECG 5.0 AIO Multi Vital Sign Simulator und dem AECG100 Wearable ECG & PPG Simulator lassen sich diese digitalen Dateien in analoge Wellenformen umwandeln.

Anschließend kann die durch den EDR-/PDR-Algorithmus berechnete Atemfrequenz mit der tatsächlich gemessenen Atemfrequenz verglichen werden.



Abbildung 6. ECG-, PPG- und Atemwellenformen, die mit MIMIC II/III gewonnen wurden.

4. Fazit

Auf dem Markt gibt es immer mehr Anwendungen, die EDR/PDR einsetzen, und die Genauigkeit der Atemfrequenzmessung gewinnt zunehmend an Bedeutung.

WhaleTeq bietet daher eine wirksame und wiederholbare Methode, mit der Hersteller die Geräteleistung und den Algorithmus bereits vor klinischen Studien verifizieren können. Dadurch lässt sich entweder die Erfolgswahrscheinlichkeit klinischer Studien erhöhen oder die Produktionsqualität in der Serienfertigung gezielt kontrollieren.