

# Alternative: RTnet

## Hart echtzeitfähiges Ethernet jenseits von Herstellergrenzen



Das offene RTnet basiert auf Linux und der Echtzeiterweiterung RTAI

**sogar grundlegend überarbeitete Ethernet-Controller erforderlich sind, ist angesichts der inhärent undeterministischen Eigenschaften dieses Mediums offensichtlich. Doch ist der Aufwand etwa für Zykluszeiten im unteren Mikrosekundenbereich für die Breite der industriellen Anwendungen tatsächlich erforderlich?** JAN KISZKA, ROBERT SCHWEBEL

**Echtzeit-Ethernet – mit diesem Begriff assoziiert man schnell die unterschiedlichsten Lösungen namhafter Hersteller von Automatisierungssystemen. Viele dieser Verfahren, die harten Echtzeitanforderungen genügen, wetteifern öffentlichkeitswirksam um die kürzeste Zykluszeit oder die genaueste Uhrensynchronisation. Dass hierfür spezifisch angepasste Hardwarekomponenten wie Echtzeit-Switches, Netzwerkadapter mit hoher Eigenintelligenz oder**



**E**inige Anbieter beantworten die Frage nach der Notwendigkeit flexiblerer Lösungen selbst, indem sie zusätzlich für geringere Echtzeitanforderungen Verfahren anbieten, die auch mit Standardkomponenten einsetzbar sind. Diese auf Software basierenden Lösungen weisen jedoch im Gegensatz zu den hardwaregestützten vielfach die Problematik auf, nur bei wohl dimensionierten und kontrollierten Lastsituationen maximale Übertragungszeiten mit akzeptabler Wahrscheinlichkeit versprechen zu können. Bedingt wird diese weiche Echtzeitfähigkeit entweder durch die Verwendung von TCP/IP für zeitkritische Daten, die unzureichende Koordinierung der Mediennutzung oder schlicht den Einsatz eines nicht echtzeitfähigen Betriebssystems auf den Netzwerkknoten.

### Keine Modifikation der Ethernet-Komponenten

Um die Lücke zwischen streng deterministischen, hardwareunterstützten Lösungen und rein softwarebasierten Verfahren für weiche Echtzeitanforderungen zu füllen und sich zudem nicht in die Abhängigkeit von einzelnen Herstellern zu begeben, entstand an der Universität Hannover das Projekt RTnet. Es stellt ein Framework bereit, das mit Protokollen und Werkzeugen zur Konfiguration, zum Betrieb und zur Diagnose von Echtzeit-Ethernet-Netzwerken ausgestattet ist. RTnet bietet harte Echtzeit über unmodifizierte Ethernet-Komponenten, wie sie sich auf kleinsten Embedded-Controllern, in Industrie-PCs oder gar in geeigneten Bürorechnern finden. ►

Dipl.-Ing. JAN KISZKA ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Hannover

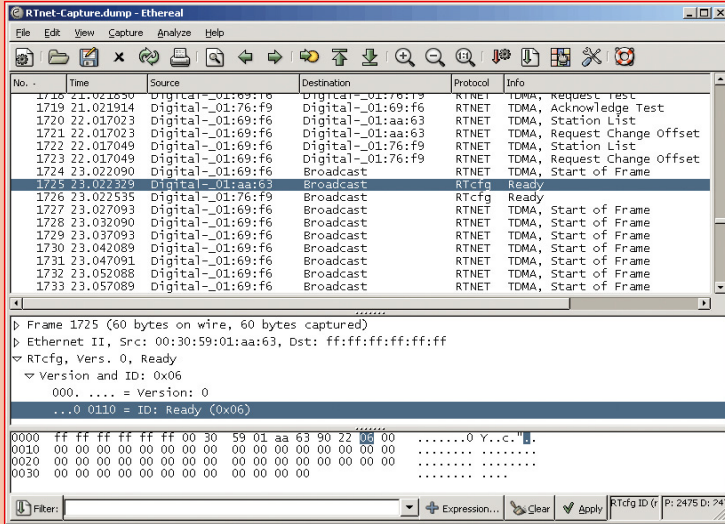
**KONTAKT**  
T +49/511/762-3974  
kiszka@rts.uni-hannover.de



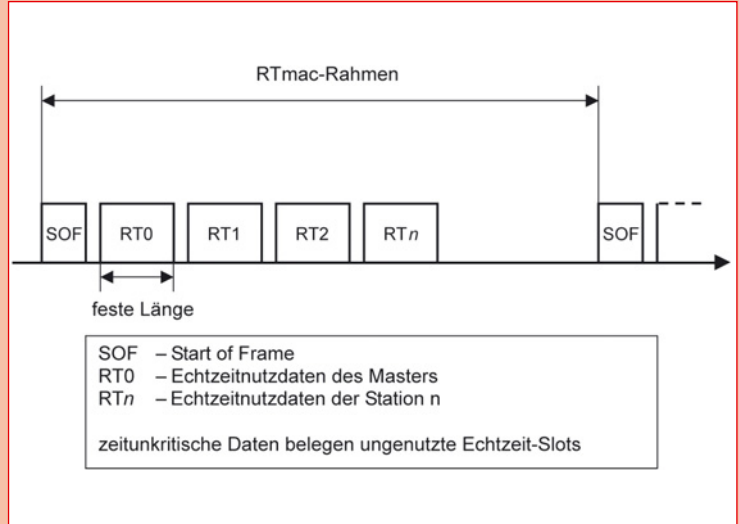
Dipl.-Ing. ROBERT SCHWEBEL ist in der Unternehmensleitung bei Pengutronix in Hildesheim

**KONTAKT**  
T +49/5121/28619-0  
rsc@pengutronix.de





Timing- und Protokollanalyse mit Ethereal



Jede Station belegt einen Zeitschlitz im TDMA-Rahmen

Mit Standard-Switches oder Hubs lassen sich die Teilnehmer je nach Anforderung zu Stern- und Bus-Topologien verschalten.

Da RTnet ohne spezifische Hardwareunterstützung Echtzeitfähigkeit erzielt, sind abgeschlossene Netzwerke Voraussetzung, in denen sich alle Teilnehmer an das vorgegebene Protokoll halten. Um dennoch die Erreichbarkeit der somit isolierten Teilnehmer zu gewährleisten, bietet RTnet die Möglichkeit, zeitunkritische Kommunikation durch das Echtzeitnetzwerk zu tunneln. Ein Gateway zu anderen Netzwerken eröffnet den vollen Zugriff auf Teilnehmer im RTnet-Netzwerk über Stream-orientierte Protokolle wie TCP/IP. So können Diagnose- und Wartungsaufgaben weiterhin auch aus der Ferne durchgeführt werden, etwa über ein Webinterface vom Browser aus.

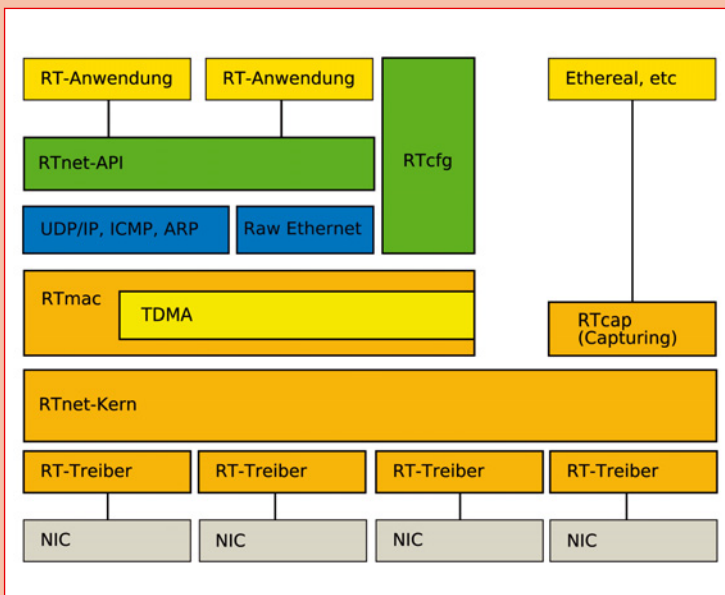
In konventionellen Ethernet-Netzwerken entsteht nicht deterministisches Verhalten durch Kollisionen: Versuchen zwei Stationen gleichzeitig zu senden, wird dies erkannt und erst

nach einer zufälligen Wartezeit ein neuer Sendeversuch unternommen. RTnet erreicht die Echtzeitfähigkeit zum einen durch die genaue Kontrolle der Absendezeitpunkte von Nachrichten. Dadurch werden sowohl Kollisionen auf dem Netzwerk verhindert als auch Überlastungen einzelner Teilnehmer oder der Infrastrukturkomponenten unterbunden, die bei alleiniger Verwendung von Standard-Switches nicht auszuschließen sind. Nach welchem Protokoll der Medienzugriff gewährt wird, entscheidet ein modular eingebundenes Zugriffsverfahren. RTnet bietet in der aktuellen Version ein Zeitschlitzprotokoll (TDMA, Time Division Multiple Access), das jedem Teilnehmer einen festen Zeitslot in einem Kommunikationszyklus zuweist. Synchronisiert werden die Teilnehmer durch einen Master, der periodisch den Beginn eines neuen Zyklusses durch eine Startnachricht (Start of Frame) signalisiert. Über das Start-of-Frame-Paket wird zugleich die Uhrensynchronisation der Teilnehmer realisiert. Zu

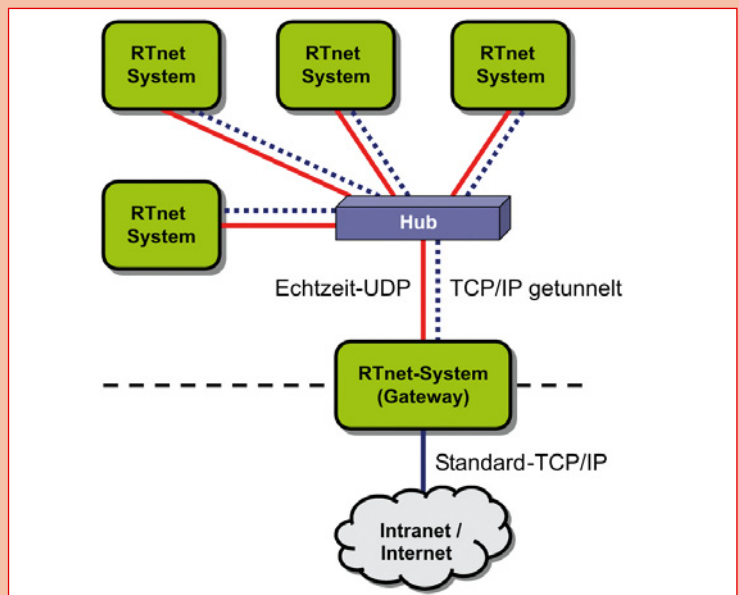
sendende Pakete werden auf den Teilnehmerknoten gemäß ihrer Priorität sortiert; durch Zuweisung der niedrigsten Prioritätsstufe an zeitunkritische Daten wie TCP/IP-Pakete werden diese nur dann übermittelt, wenn sie zeitkritische Kommunikation nicht behindern.

### Kritische Komponenten optimiert

Neben der Kontrolle des Sendezugriffs stellt die streng deterministische Implementierung des Protokollstacks die zweite Hauptsäule dar, auf denen die harten Echtzeiteigenschaften von RTnet beruhen. So weisen herkömmliche Protokollstacks eine erhebliche Anzahl konkurrierend genutzter Ressourcen auf, etwa Datenpuffer, CPU-Zeit, logische Adressen oder Eingangswarteschlangen. Um eine lastunabhängige Reaktivität des Stacks sicherstellen zu können, wurden kritische Komponenten eingehend hinsichtlich der maximalen Ausführungsdauer op-



RTnet-Netzwerk-Stack



Das abgeschlossene RT-Netz kann per Gateway an die Internetwelt angekoppelt werden

timiert. RTnet kann dadurch eine echtzeitfähige Realisierung von UDP/IP, ICMP und ARP anbieten. So ist es in jedem Fall sichergestellt, dass sich ein Paket, welches von der Applikation zum Senden übergeben wird, in deterministischer Zeit auch physikalisch auf dem Kabel befindet. Besondere Anforderungen stellt das Starten eines echtzeitfähigen Netzwerks mit zyklischem Datenverkehr. Die Konfigurationen der Teilnehmer müssen übermittelt sowie deren Funktion überwacht werden. RTnet realisiert dies mittels des so genannten RTcfg-Protokolls. Es erlaubt eine zentrale Vorhaltung aller Netzwerkparameter und deren Verteilung an neu angeschlossene Teilnehmer, ohne die Echtzeitbedingungen zu verletzen. Zusätzlich zu den RTnet-spezifischen Einstellungen lassen sich allgemeine, anwendungsdefinierte Daten wie Steuerungsparameter oder -programme übertragen. RTcfg wurde als eigenständige Komponente im RTnet-Framework entwickelt und ist unabhängig von dem verwendeten Transportprotokoll oder dem eingesetzten Medienzugriffsverfahren. Insbesondere unterstützt es Zugriffsverfahren dabei, defekte oder neu zu konfigurierende Teilnehmer auszutauschen, ohne den laufenden Echtzeitbetrieb zu unterbrechen.

Um die Entwicklung eigener Echtzeitanwendungen so einfach wie möglich zu gestalten, stellt RTnet seine Echtzeitkommunikationsdienste über eine BSD-Socket-Schnittstelle bereit, wie sie in jedem modernen Betriebssystem zu finden ist. Dieses ermöglicht den schnellen Einstieg in die Entwicklung und erleichtert zugleich die Portierung existierender Software. Echtzeit-Anwendungen können paketorientierte Dienste wie UDP/IP oder Raw Ethernet nutzen: RTnet ist damit nicht auf bestimmte High-Level-Protokolle festgelegt, sondern bietet lediglich einen Übertragungskanal mit garantierter Bandbreite.

Darüber hinaus lassen sich übergeordnete Kommunikationsprotokolle vergleichsweise einfach auf RTnet aufsetzen. So steht mit ORTE bereits heute eine Realisierung des RTPS-Standards (Realtime Publish & Subscribe) zur Verfügung, die mit RTnet zusammenarbeitet. Ferner gibt es konkrete Bestrebungen, CORBA mit RTnet zu verbinden: Als Middleware kann CORBA dafür sorgen, dass verteilte Anwendungen unabhängig vom darunter liegenden Betriebssystem, der Hardwarearchitektur sowie dem Übertragungskanal entwickelt werden können.

## Offen mit Linux

Voraussetzung für den Einsatz von RTnet ist eine hart echtzeitfähige Systemplattform; die momentan verfügbare Referenzimplementierung setzt auf Linux und die Echtzeiterweiterung RTAI auf Linux ist dabei durch die Vielzahl zur

Verfügung stehender Software besonders für neben RTnet anfallende zeitunkritische Aufgaben wie Routing, Anschluss an LAN-, Wireless- oder Dial-In-Netzwerke oder auch Benutzerinteraktion (HMI) und Fernwartungsaufgaben über Webinterfaces hervorragend geeignet. Hardwareseitig unterstützt die Referenzimplementierung bislang x86- und PowerPC-Plattformen sowie eine Vielzahl gängiger Ethernet-Controller. Die Ethernet-Anbindung basiert auf leicht modifizierten Linux-Treibern, so dass eine Integration zusätzlicher Hardware mit geringem Aufwand möglich ist. Darüber hinaus sind die RTnet-Protokolle keineswegs an Linux gebunden. Sie lassen sich ebenso auf Ethernet-fähige Embedded-Controller übertragen.

RTnet entstand in einem offenen Entwicklungsprozess als freie Software und wird auch in diesem Rahmen weiterentwickelt, getrieben durch Anforderungen der Nutzer. Die Kommunikationsprotokolle sind offen einsehbar und lizenzkostenfrei in eigenen Umsetzungen verwendbar. Die freie Verfügbarkeit der Referenzimplementierung hat in kurzer Zeit zu einem intensiven Austausch mit anderen Forschungs- und Industrieprojekten geführt und so die Interoperabilität mit unterschiedlichen Softwarepaketen ermöglicht.

## Warum RTnet?

RTnet spielt vor allem dort seine Stärken aus, wo die individuelle Anpassungsfähigkeit an spezielle Probleme und Anforderungen eines Entwicklungsprojektes notwendig ist: Die Open-Source-Lizenz ermöglicht eine flexible Adaption des Codes an die Randbedingungen des Anwenders, die mit vorkonfektionierten, proprietären Lösungen oft nicht im notwendigen Maße realisierbar ist. Da der Anwender vollen Einblick in den Sourcecode und die verwendeten Mechanismen bekommt, ergibt sich ein langfristiger Investitionsschutz, der vor allem bei Anwendungen aus dem Bereich (Sonder-) Maschinenbau extrem wichtig ist. Für Hardwarehersteller ergibt sich zudem die Möglichkeit, auch nachträglich echtzeitfähige Kommunikation zu realisieren, ohne Änderungen an einer bestehenden Steuerung mit Ethernet-Anschluss vornehmen zu müssen.

Die RTnet-Roadmap zeigt, dass für die Zukunft eine Reihe von weiteren interessanten Features geplant sind, etwa die neue Version des TDMA-Protokolls, welches Hot-Plugging, Fallback-Master und optimierte Zeitstempel bieten wird. Daneben arbeitet das Entwicklerteam vor allem an der Verbesserung der Dokumentation und Spezifikation der eingesetzten Protokolle. ■

Beitrag als PDF auf [www.aud24.net](http://www.aud24.net)

more @ click AD104705 >