Herausforderungen und Potenziale bei der Weiterentwicklung des etablierten ISOBUS zu einem High-Speed ISOBUS

Franz Kraatz, M.Sc, MBA, Frank Nordemann, M.Sc., Prof. Ralf Tönjes,
Hochschule Osnabrück, Osnabrück

Kurzfassung

Der Einsatz des ISOBUS zeigt, dass Bedarf an Datenkommunikation auch auf landtechnischen Gespannen besteht. Jedoch wird auch deutlich, dass der ISOBUS mit seiner relativ geringen Datenrate keine Ressourcenreserven für neue Anwendungen aufweist. Aus diesem Grund ist der Wechsel der Übertragungstechnologie für die Weiterentwicklung des ISOBUS zu einem High-Speed ISOBUS notwendig. Eine geeignete und im weiteren Verlauf näher betrachtete Technologie für den Wechsel ist Ethernet. Es wird gezeigt welche Potenziale für den ISOBUS durch Ethernet entstehen und welche Herausforderungen dabei bewältigt werden müssen.

1. Motivation

In der Landtechnik hat sich, wie in vielen Bereichen der Wirtschaft, der Einsatz von Elektronik und einer entsprechenden elektronischen Steuerung etabliert und vielfach bewährt. Durch die immer komplexeren Prozesse der Landtechnik und der damit gestiegenen Anforderungen an die landtechnischen Maschinen wird sich diese Entwicklung weiter fortsetzen. Die Bedeutung und Potenziale der dabei entstehenden und durch technische Beschränkungen bisher nur teilweise dokumentierten Daten wird zurzeit deutlich und dementsprechend durch Förderprogramme unterstrichen [1]. Ein nicht zu vernachlässigender Anteil an dieser Entwicklung entfällt auf den herstellübergreifenden Datenkommunikationsstandard ISOBUS. Der dargelegte Trend in der Landtechnik zeigt sich aber auch an diesem System. So wurden bereits bestehende Anwendungen aus dem ISOBUS mit neuen Funktionen (Peer Control) erweitert und neue Anwendungen (Sequence Control) in das System integriert. Gleichzeitig kommen vermehrt Sensorsysteme wie ISARIA [2] und NIR [3] sowie Kamerasysteme für die Prozessbeobachtung und Rückfahrkontrolle auf dem Markt. Eine sehr wesentliche Gemeinsamkeit aller aufgeführten Entwicklungen ist die Notwendigkeit von Datenkommunikation. Auf der Landmaschine ist dafür der bereits erwähnte ISOBUS zuständig, der durch die Verwendung der Übertragungstechnologie CAN nur eine relativ geringe Datenübertragung von 250 kbps ermöglicht. Zudem fordern komplexere Anwendungen sowie die funktionale Sicherheit höhere Übertragungsgeschwindigkeiten und kürzere Latenzen.

2. Stand der Technik

Nachfolgend wird der ISOBUS mit den zurzeit für die Erweiterung zu einem High-Speed ISOBUS limitierenden Eigenschaften vorgestellt. Anschließend werden die Grundfunktionalität von Ethernet, der Einsatz von Ethernet in anderen Industriebereichen und Erweiterungen von Ethernet für Echtzeitanforderungen aufgeführt.

2.1. Datenkommunikationsstandard in der Landtechnik

Basierend auf der Übertragungstechnologie CAN wurde der landwirtschaftliche Datenkommunikationsstandard mit der Bezeichnung ISO11783 [4], besser bekannt als ISOBUS, standardisiert. Er enthält Anwendungen wie Task Controller, Universal Terminal und File Server. Durch die Verwendung von CAN arbeitet der ISOBUS mit Broadcast-Kommunikation und verbindet alle verbundenen Steuergeräte gleichberechtigt. Der Buszugriff ist durch ein dominantes Low und rezessives High in Kombination mit dem festgelegten Adressierungsschema in Zusammenhang mit der Nachricht klar geregelt. So hat jede Nachricht ihre eindeutige Priorität. Als Verkabelung wird lediglich eine zweiadrige, verdrehte Leitung verwendet. Für die Stromversorgung gibt es außerdem noch eine Spannungsleitung und eine Steuerspannungsleitung für den aktiven Busabschluss im Breakaway-Connector zwischen Traktor und Anbaugerät.

Der Nachrichtenaustausch und die Nachrichten an sich sind im ISOBUS-Standard definiert und ermöglichen so eine herstellübergreifende Kommunikation. Durch die Flexibilität und die kontinuierliche Erweiterung des Systems verbessert sich die Akzeptanz der Kunden stetig. Daher entsteht mittlerweile vermehrt Kommunikationsbedarf durch die Applikationen auf dem landtechnischen Gespann, so dass 250 kbps nicht immer ausreichen. Zudem können zeitkritische Anwendungen durch die Eigenschaften von CAN nur sehr begrenzt realisiert werden. Weiterhin besteht keine Netzzugangskontrolle und definierte Aussagen zu maximalen Latenzen sind nur eingeschränkt möglich, wodurch geforderte Eigenschaften für Anwendungen, wie z.B. die funktionale Sicherheit, aktuell nicht zu erfüllen sind.

2.2 Allgemeine Funktionalität von Ethernet

Die Technologie Ethernet ist eine alternative Technologie zu CAN und kann je nach eingesetzter Bitübertragung von 10 Mbps bis zu mehreren 100 Gbps übertragen. Hier wird fast ausschließlich mit einer Stern- bzw. Baumarchitektur und Punkt-zu-Punkt Verbindungen gearbeitet. Mit dieser Architektur lässt sich sowohl Broadcast-Kommunikation wie bei CAN aber auch Uni- und Multicast-Kommunikation realisieren. In dieser Architektur werden Infrastrukturelemente in Form von Switches als Knotenpunkte benötigt, die die Nachrichten nach dem Best-Effort-Prinzip vermitteln.

Als Bitübertragung kommen Kupfer- sowie Glasfasertechnologien zum Einsatz. Bei einer Übertragung über Kupfer sind bisher nur Leitungen mit mehreren verdrehten Adernpaaren definiert.

Für die Verwendung in Fahrzeugen sind aktuell zwei neue Verfahren mit nur einem verdrehten und ungeschirmten Adernpaar entwickelt worden. Die Bezeichnung dieser beiden Verfahren lautet 100BASE-T1 mit 100 Mbps und 1000BASE-T1 mit 1000 Mbps. Zu beachten ist, dass nur eine Übertragungslänge von 15 m mit vier in der Leitung möglichen Steckverbindern festgelegt ist. Die Verbinder müssen dabei definierte Parameter einhalten.

Das VLAN-Tag [5] wird als Erweiterung des einfachen Ethernetdatenpakets genutzt, um das physische Netz in mehrere logische Netze zu unterteilen und acht Prioritätsklassen nutzen zu können. Mit den unterschiedlichen Prioritäten gilt das Best-Effort-Prinzip nur noch in der jeweiligen Prioritätsklasse. Höhere Prioritäten können somit niedrigere Prioritäten vollständig verdrängen.

Zwei weitere in Ethernet integrierte Funktionen sind Verschlüsselung nach 802.1AE [6] und Netzzugangsverfahren nach 802.1X [7]. Die Verschlüsselung fügt ähnlich wie das VLAN-Tag zusätzlich ein Security-Tag und einen Nachrichten-Authentifizierungs-Code zum Datenpaket hinzu. Hierdurch wird eine Verschlüsselung der im Datenpaket enthaltenen Daten möglich. Das Netzzugangsverfahren stellt sicher, dass nur autorisierte Teilnehmer Zugang zum System und der Kommunikation erhalten. Hierzu authentifiziert sich ein Teilnehmer (Supplicant) beim Switch (Authenticator), der die Anfrage zum Authentifizierungsserver weiterleitet. Erst wenn der Authentifizierungsserver die Anfrage bestätigt, gibt der Authenticator den entsprechenden Port des Teilnehmers für die Kommunikation mit dem System frei. Unter dem Begriff erweiterbares Authentifizierungsprotokoll mit Transportschichtsicherheit (EAP-TLS) arbeitet dieses Verfahren mit einer beidseitigen, zertifikatbasierten Authentifizierung.

2.3. Industrial Ethernet

Da Ethernet in seinem prinzipiellen Aufbau nicht für zeitkritischen und auch geplanten Datenverkehr ausgelegt ist, sind durch Bestrebungen der Automatisierungsindustrie mehrere proprietäre Echtzeitvarianten entstanden. Hier sind im Wesentlichen ProfiNet, EtherCAT, SERCOS-III, Powerlink und Ethernet/IP zu nennen [8]. Für die Umsetzung der Echtzeitanforderung gibt es mehrere unterschiedliche Ansätze, wobei bei allen Varianten die vollständige Architektur mit allen Nodes und der entstehende Datenverkehr schon zur Planungsphase bekannt sind. So kann beispielsweise ein zentraler Master durch das zyklische Abfragen aller Nodes innerhalb definierter Zeitschlitze die Echtzeitanforderungen erfüllen. Ebenso ist es möglich eine Ringkommunikation zu verwenden, um Datenpakete mit festgelegten Datenfeldern nacheinander durch alle Nodes zu schicken. Die Nodes können dabei ihre spezifischen Datenfelder in den Datenpaketen beim Durchschleifen des Pakets bearbeiten. Nur durch die Planung des Datenverkehrs werden diese Systeme echtzeitfähig und sind zudem nicht dynamisch zur Laufzeit erweiterbar.

2.4. Erweiterung von Ethernet für Echtzeitanforderungen

Ein erster Schritt in Richtung Echtzeitfähigkeit wurde mit der Integration von Audio Video Bridging (AVB) [9] in Ethernet gemacht. AVB beinhaltet eine Zeitsynchronisation aller verbundenen Nodes mit einer maximalen Anzahl an Hoops von acht. Zudem ist es mit AVB möglich eine Bandbreitenreservierung für einen festgelegten Pfad durchzuführen. Anschließend wird der Datenverkehr auf dem Pfad von den Switchen entsprechend der Reservierung nach dem Credit-based-Fair-Queuing-Prinzip übertragen. Time Sensitive Networking (TSN) [9] geht noch einen Schritt weiter in Richtung Echtzeitfähigkeit von Ethernet. Lange Datenpakete können für die Übertragung von höher priorisierten Paketen unterbrochen werden. Eine redundante Zeitsynchronisation wurde hinzugefügt. Bei der Bandbreitenreservierung sind mehrere Sender und Empfänger je reserviertem Pfad möglich und Switche können die Prioritätsklassen gezielt für Zeitintervalle sperren und freigeben.

3. Integration von Ethernet in ISOBUS

Dieses Kapitel untersucht die Eignung von Ethernet für die Realisierung eines ISOBUS mit hoher Datenrate. Die Herausforderung besteht darin, ein offenes System mit Erweiterungsmöglichkeiten zu schaffen, um neue zukünftige Anwendungen ohne Anpassungen in das System integrieren zu können. Gleichzeitig ist es erstrebenswert ein System zu erhalten, welches an steigende Anforderungen anzupassen ist, aber dabei möglichst abwärtskompatibel zu den existierenden Varianten bleibt.

3.2. Veränderungen der Architektur

Im Gegensatz zu der bisherigen Linienarchitektur mit CAN ist der Einsatz von Ethernet nur mit einer Baum-Sternstruktur möglich. So verändert sich nicht nur die Architektur, sondern es sind auch Infrastrukturelemente für die Umsetzung der Struktur notwendig. Die folgende Abbildung 1 zeigt die Umsetzung der neuen Architektur mit Infrastrukturelementen auf dem Landmaschinengespänn.

Abbildung 1: Topologische Struktur mit Ethernet

Bei Ethernet ist somit für jeden Knotenpunkt in der Architektur eine Einheit mit Switch-Funktionalität notwendig. Die Switch-Funktion kann mit vorhandenen Einheiten, wie die T-ECU, kombiniert werden.

3.1. Umsetzung der Verkabelung

Die Verkabelung beim bestehenden ISOBUS erfolgt mit einer zweiadrigen Leitung für die Datenkommunikation teilweise kombiniert mit einer Spannungsversorgungsleitung und einer Steuerspannungsleitung zum aktiven Busabschluss. Nun kann für Ethernet bei der Verwendung von 100BASE-T1 und 1000BASE-T1 auch eine zweiadrige Leitung verwendet werden. Die Spannungsversorgungsleitung bleibt bestehen, wohingegen die Steuerspannungsleitung weggelassen werden kann. Durch die höheren Anforderungen an die Steckverbinder sind neue Steckverbinder notwendig. Hier ist es durch die relativ langen Lebenszyklen von Landmaschinen sinnvoll die bestehenden Leitungen für CAN in den Steckverbinder mit aufzunehmen und so für die Übergangsphase abwärtskompatibel zu bleiben. Mit Adaptern könnten so alle vorhandenen Maschinen weiterhin verwendet werden.

3.3. Netzwerkmanagement

Mit der Verwendung des EAP-TLS-Netzzugangsverfahrens authentifizieren sich Teilnehmer erst beim Switch oder auch Switches untereinander voll automatisch bevor Einfluss auf die Kommunikation genommen werden kann. Somit stellt die Zertifizierung sicher, dass alle Teilnehmer protokollspezifisch kommunizieren. Damit alle Teilnehmer kontinuierlich im System bekannt sind, muss eine Anmeldung und Abmeldung erfolgen. Unter bestimmten Umständen kann die Abmeldung von Teilnehmern auch vom Switch erfolgen, wenn z.B. eine abrupte physische Trennung eines Teilnehmers durchgeführt wird.

Die Integration vom Herstellergerätebus und der Nachrichten vom CAN basierten ISOBUS ist durch die Verwendung von VLANs möglich. Der CAN basierte ISOBUS wird in ein eigenes VLAN gekapselt, damit alle Teilnehmer die Datenpakete schnell vom normalen Datenverkehr unterscheiden können. Die Wiederverwendung der bestehenden Treiber für die CAN-Nachrichten ist so sehr einfach realisierbar. Zudem ist eine separate Verkabelung für den Gerätebus nicht zwingend notwendig, da die Trennung auch mit VLAN möglich ist. Der Switch stellt hierbei sicher, dass der Gerätebus durch das VLAN nur innerhalb der Landmaschine verteilt wird. Der Verschlüsselungsmechanismus von Ethernet stellt, wenn gefordert, einen sicheren Datenaustausch im System bereit. Dies kann für die Verknüpfung der Gerätebusse von zwei Landmaschinen, als Beispiel zwei Anbaugeräte, eines Herstellers über das vollständige System ohne Datenverluste an Dritte genutzt werden.

Für die Differenzierung der Datenpakete im System sind die acht Prioritätsklassen des VLAN-Tags vorhanden. Die Unterteilung könnte wie folgt erfolgen:

- Priorität 7: Sicherheitsrelevante Funktionen (Funktionale Sicherheit)
- Priorität 6: Zeitkritische Steuerungsdaten (Regelkreise)
- Priorität 5: Zeitkritische Videodaten (Rückfahrkamera)
- Priorität 4: Steuerungsdaten (Prozesssteuerung)
- Priorität 3: Videodaten (Prozessbeobachtung)
- Priorität 2: Datenaustausch ISOBUS(Poolupload/M2M)
- Priorität 1: Datenaustausch andere Systeme (Firmware Update/Internet)
- Priorität 0: wird nicht verwendet

Damit höhere Prioritäten die niedrigeren nicht vollständig verdrängen, ist eine Bandbreitenbegrenzung zu integrieren. Die Mechanismen von TSN bieten diese Möglichkeit und verringern die Latenzen zusätzlich durch Funktionen zur Paketunterbrechung. Hier ist zu untersuchen, welche Prioritätsklasse welche Mindestbandbreite benötigt und welches Verfahren, Credit-based-Fair-Queuing oder Zeitintervallfreischaltung der Klassen, die Bandbreitenbegrenzung am optimalsten umsetzt. Auch eine Kombination beider Verfahren ist denkbar.

4. Fazit

Der ISOBUS kann die Anforderungen der immer komplexeren landtechnischen Anwendungen in Zukunft nicht mehr abdecken. Aus diesem Grund ist es notwendig, den ISOBUS zu einem High-Speed ISOBUS weiter zu entwickeln. Da die bisher verwendete Übertragungstechnologie CAN keine Steigerung der Bandbreite zulässt, ist ein Wechsel auf eine andere Technologie unausweichlich. In diesem wird Beitrag aufgeführt, welches Potenzial Ethernet als Übertragungstechnologie im ISOBUS hat. Gleichzeitig ergeben sich daraus die aufgeführten Herausforderungen, wie beispielsweise neue Steckverbinder.

- [1] Förderprogramm BMEL, Big Data in der Landwirtschaft, 2016
<https://www.bmel-forschung.de/aktuelles/bekanntmachungen/big-data/>
- [2] Reckleben Y., Sensoren für die Stickstoffdüngung - Erfahrungen in 12 Jahren praktischem Einsatz, Journal für Kulturpflanzen, Stuttgart, 2014
- [3] Zimmermann A., u. a., Einsatz von Nahinfrarotspektroskopie für eine nährstoffgesteuerte Gülleausbringung, 28 GIL-Jahrestagung, Kiel, 2008
- [4] ISO 11783, Tractors and machinery for agriculture and forestry - Serial control and communications data network, Part 1-14
- [5] IEEE 802.1Q, Bridges and Bridges Network, New York, 2014
- [6] IEEE 802.1AE, Media Access Control (MAC) Security, New York, 2013
- [7] IEEE 802.1X, Port-Based Network Access Control, New York, 2014
- [8] Klasen F., u. a., Industrielle Kommunikation mit Feldbus und Ethernet, Berlin, 2010
- [9] IEEE, Time Sensitive Networking Task Group, <http://www.ieee802.org/1/pages/tsn.html>