
블루투스 베이스밴드에서의 적응 주파수 호핑 방식

문상국*

An Adaptive Frequency Hopping Method in the Bluetooth Baseband

Sangook Moon*

요 약

기존의 블루투스 버전 1.0에서의 주파수 호핑방식은 하나의 피코넷에서 특정한 주파수를 사용하여, 디바이스의 클럭과 주소의 특정한 영역의 정보를 참조하여 결정되는 알고리즘을 가지고 있었다. 기본적인 호핑 패턴은 ISM 밴드의 79개의 주파수를 pseudo-random 방식으로 나열하는 것이었다. 이때 발생하는 문제점은 주위에 같은 호핑 주파수를 사용하는 다른 무선 디바이스가 있는 경우 하나의 주파수를 가지고 두 개의 디바이스가 충돌하는 사태가 발생한다는 점이다. 본 논문에서 제안하는 적응 주파수 호핑 (adaptive frequency hopping) 방식은 이러한 문제점을 해결하여 두 가지 이상의 무선 디바이스가 공존하여 채널을 사용할 수 있도록 한다. 제안된 방식은 HDL로 구현되어 자동합성되었으며, 자동 레이아웃 되어 검증되었다. 제안된 방식은 구현의 주체가 될 블루투스 디바이스 주파수인 24MHz에서 정상적으로 동작하였다.

ABSTRACT

In Bluetooth version 1.0, the frequency hopping algorithm was such that there was one piconet, using a specific frequency, resolving the frequency depending on the part of the digits of the device clock and the Bluetooth address. Basic pattern was a kind of a round-robin using 79 frequencies in the ISM band. At this point, a problem occurs if there were more than two devices using the same frequency within specific range. In this paper, we proposed a software-based adaptive frequency hopping method so that more than two wireless devices can stay connected without frequency crash. Suggested method was implemented with HDL (Hardware Description Language) and automatically synthesized and laid out. Implemented adaptive frequency hopping circuit operated well in 24MHz correctly.

키워드

Frequency hopping, adaptive frequency hopping, wireless, HDL

1. 서 론

기존의 블루투스 버전 1.0에서의 주파수 호핑방식 (frequency hopping method) 은 하나의 피코넷에서 특정한 주파수를 사용하여, 디바이스의 고유 클럭과 디바이스 고유 주소의 특정한 영역의 정보 중 몇 비트를 참조하여 생성하는 알고리즘을 가지고 있었다. 기본적인 호핑 패턴은 ISM 밴드의 79개의 주파수를 pseudo-random 방식으로 나열하는 두 가지 경우의 주파수 호핑 트레인 (train)을 만드는 것이었다. 이때 발생하는 문제점은 주위에 같은 호핑 주파수를 사용하는 다른 무선 디바이스가 있는 경우 하나의 주파수를 가지고 두 개의 디바이스가 충돌할 수 있는 사태가 발생한다는 점이다 [1]. 이를 보완하기 위하여 많은 연구가 진행되었는 바, 그 중의 한가지 방법은 충돌한 주파수의 정보를 인식하여, 다음 번 주파수 호핑 시도 때는 그 주파수는 선택되지 않게 하는 방법이고, 이를 하드웨어/소프트웨어의 trade-off를 적절히 배합하여 설계하는 것이 중요하다.

본 논문에서 제안하는 적응 주파수 호핑 (adaptive frequency hopping) 방식은 이러한 문제점을 해결하여 블루투스, ZigBee, 무선랜 등 두 가지 이상의 무선 디바이스가 공존하여 채널을 사용할 수 있도록 한다 [2][3][4]. 제안된 방식은 HDL로 구현되어 자동 합성되었으며, 또한 자동 레이아웃 되어 검증되었다. 제안된 방식은 구현의 주체가 될 블루투스 디바이스 주파수인 24MHz에서 정상적으로 동작하였다.

II. 블루투스 베이스밴드

그림 1은 블루투스 베이스밴드의 일반적인 블록 다이어그램이다. 그림 오른쪽에는 RF 모듈이 존재하여서 2.4 GHz ISM 밴드의 주파수를 변조하는 역할을 수행하고, 이로 받은 데이터들은 아래 부분의 타이밍 복원 회로에 의해 1MHz의 샘플링 형식에 맞는 데이터의 스트림으로 입력된다. 입력된 데이터들은 먼저 로우패스 필터를 통과하여 노이즈를 제거하면서 신호의 수행 사이클에 충실히 번역되어 베이스밴드 내로 전달된다.

이 때 64비트 블록 단위로 전송되는 데이터는 데이터의 싱크 검색기에 의해 신호의 문자열이 '1010' 또는 '0101'인지를 감별하여 그것이 데이터 패킷의 시작인지를 인지한다. 성공적으로 인지되어 전달된 데이터는 일정한 블록 형태의 병렬 데이터로 변환되고 변환된 데이터는 헤더와 페이로드 부분으로 나뉘어 각각의 에러 정정 블록으로 전달

된다. 헤더 에러 검출 블록에서는 스펙에 정의된 헤더의 에러를 검출하는 알고리즘을 이용하여 헤더의 에러를 검출하여 이후를 진행하고, 페이로드 부분은 화이트닝/디화이트닝 블록에 의해 스크램블링 되었던 데이터들이 의미있는 값을 가지면서 FEC (Forward Error Check) 의 세가지 모드 (1/3, 2/3, 3/3) 에 의하여 에러를 다시 검출하고, [5][6] 간단한 에러 복구 메커니즘에 의해 복구된 데이터는 헤더와 페이로드로 분리되어 베이스밴드 내 메모리에 데이터 블록으로 각각 저장된다. 통신 패킷의 종류는 SCO (Synchronous Connection Oriented)와 ACL (Asynchronous Connection Oriented) 두 종류로 나뉘고 이는 그림 2에서와 같이 보여진다. SCO 패킷은 슬롯을 할당하여 주로 음성통신과 같은 어플리케이션에 사용되고, ACL은 유연성을 가지는 데이터 패킷들을 전송하는데 주로 사용된다.

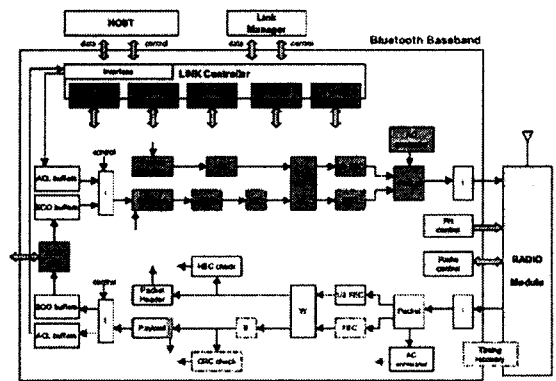


그림 1. 블루투스 베이스밴드 블록 다이어그램
Fig 1. Block diagram of Bluetooth baseband

III. 적응 주파수 호핑 방식

기존 블루투스에서 주파수 호핑 동작 시의 주파수는 표 1과 그림 3에서 보이는 바와 같이 디바이스의 고유 클럭과 주소의 특정한 비트들을 참고하여 블루투스 작동모드인 page / inquiry, page / inquiry scan, page / inquiry response, connection mode 에 따라 각각 결정되었다. 이러한 주파수 호핑방식의 문제점은 주위에 같은 호핑 주파수를 사용하는 다른 무선 디바이스가 있는 경우 하나의 주파수를 가지고 두 개의 디바이스가 충돌하였을 때 별다른 통신 복구 메커니즘이 존재하지 않고 블루

투스 스펙에 정의된 대로 데이터를 받을 때까지 계속 보내어 비효율적인 통신을 수행한다는 점이다 [7][8].

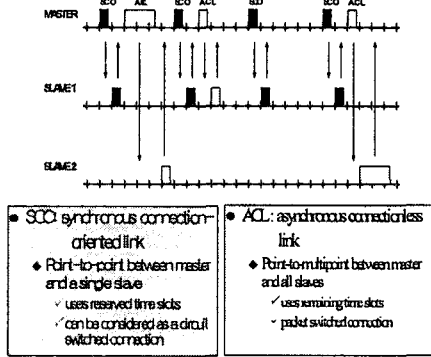


그림 2. 블루투스 패킷 통신
Fig 2. Bluetooth packet communication

표 1. 기존 주파수 호핑 방식 테이블
Table 1. Basic frequency hopping table

	Page scan/ inquiry scan	Page/inquiry	Page response (master/slave) and inquiry response	Connection state
A	f_{27-28}	f_{27-28}	f_{27-28}	$f_{27-28} \oplus CLK_{23-24}$
B	f_{27-28}	f_{22-26}	f_{27-28}	f_{27-28}
C	$f_{1, 4, 5, 2, 0}$	$f_{4, 5, 4, 2, 0}$	$f_{1, 4, 5, 2, 0}$	$f_{1, 4, 5, 2, 0} \oplus CLK_{23-24}$
D	f_{12-16}	f_{12-16}	f_{12-16}	$f_{12-16} \oplus CLK_{14-17}$
E	$f_{13, 11, 9, 7, 5, 3, 1}$	$f_{13, 11, 9, 7, 5, 3, 1}$	$f_{13, 11, 9, 7, 5, 3, 1}$	$f_{13, 11, 9, 7, 5, 3, 1}$
F	0	0	0	$16 \times CLK_{27-28} + \text{mod } 79$

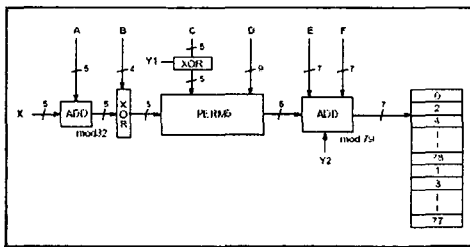


그림 3. 호핑 주파수 선택 회로
Fig 3. Circuit diagram of frequency hopping selection

적용 주파수 호핑 방식은 그림 4에서와 같이 진행된다. 일단은 기존 방식과 마찬가지로 주파수가 선택되지만, 주파수 선택기로 선택 신호가 전달되기 이전에 예전에 사용되었던 주파수인지 미리 비

교하는 모듈을 추가하여 실제 비교를 수행해 보고 신호가 전달되는 방식이어서 [9][10] 만약 이전에 사용되었던 주파수라면 재매핑을 (remapping) 통하여 다른 주파수를 선택하든지 아니면 사용자가 선택하고 싶은 주파수를 임의로 선택할 수 있게 하여 두 개 이상의 무선 디바이스들의 주파수 충돌을 피할 수 있게 하였다. 재매핑 알고리즘은 미리 계산된 순열5 회로의 출력값과 F', Y2, E 값을 저장해 놓은 다음 계산된 주파수에 modN 연산을 수행하는 방식이다. N을 범으로 하는 범 연산은 임의의 N에 대한 하드웨어 연산기로 설계하였다.

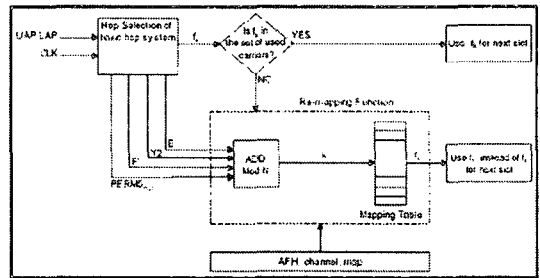


그림 4. 적응 주파수 호핑 메커니즘
Fig 4. Adaptive frequency hopping mechanism

IV. 비교 및 성능평가

성능 평가는 제작된 블루투스 싱글칩을 제작한 보드에서 테스트하여 실행하였다. 기존 방식으로 제작한 보드 위에서의 블루투스 칩에서는 같은 블루투스이거나 혹은 와이어리스 랜인 경우와 같이 두 개 이상의 디바이스가 존재하였을 때 같은 주파수를 사용하면 충돌하는 경우를 발생시켰지만 펌웨어를 통한 적응 주파수 호핑방식으로 제작한 칩에서는 임의로 주파수를 조절하거나, 하드웨어적으로 자동적으로 주파수가 조절이 되었기 때문에 이러한 주파수 충돌 현상이 발생하지 않았다.

그림 5에서는 설계된 회로에 따른 주파수의 출력 응답에 대한 타이밍 다이어그램을 명기한 것이다. 인터럽트 신호가 뜬 이후에, 적응 주파수 테이블을 참조하고 이에 따라 소프트웨어 (펌웨어)는 CPU를 사용하여 호핑 파라미터들을 계산한다. 계산된 호핑 주파수는 enable 신호를 기다렸다가 실제 유효한 시간에 결과값으로 출력된다.

또한, 적응 주파수 호핑방식을 도입한 보드에서는 의도적으로 주파수 충돌을 시도하여보고, 충돌된 주파수를 회피할 수 있는지의 테스트도 수행하

였다. 설계된 적응 주파수 호핑 회로는 범 연산 부분과 같은 복잡한 계산을 수행하는 부분만이 하드웨어로 구성이 되어 있고, 나머지 부분은 소프트웨어와 같은 성격의 펌웨어로 구성이 되어 있기 때문에 상황 대처에 유연한 장점을 보인다.

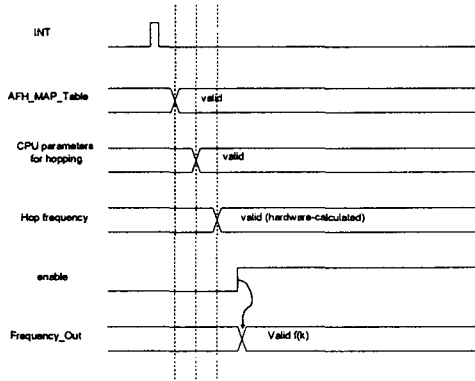


그림 5. 적응 주파수 호핑 타이밍 흐름도
Fig 5. Adaptive frequency hopping timing diagram

V. 결론

본 논문에서는 적응 주파수 호핑 방식이라는 새로운 무선 디바이스에서의 호핑 주파수 계산 방식을 제안하여 두 가지 이상의 무선 디바이스가 공존하여 채널을 사용할 수 있도록 한다. 제안된 방식은 HDL로 구현되어 자동 합성되었으며, 자동 레이어아웃 되어 검증되었다. 제안된 방식은 구현의 주체가 될 블루투스 디바이스 주파수인 24MHz에서 정상적으로 동작하였다. 본 논문에서 제안된 방법은 PDA와 같은 정보보호기기의 주파수 충돌현상을 해결하는 데 필수적인 역할을 할 것이며, 모든 무선 디바이스들의 주파수를 계산하는 데에 매우 효율적으로 사용될 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] <http://www.ericson.com/bluetooth>, "Adaptive Frequency Hopping for Reduced Interference between Bluetooth and Wireless LAN", white paper, 2003.
[2] Bluetooth Special Interest Group,

"Specifications of the Bluetooth System, vol. 1, v.1.0B 'Core' and vol. 2 v1.0B 'Profiles'," December 1999.
[3] IEEE Std. 802-15 Task Group on Coexistence, "Draft Recommended Practice for Information Technology, Part 15.2: Coexistence of Wireless Personal Area Networks with Other Wireless Devices Operating in the Unlicensed Frequency Bands," March 2003.
[4] <http://www.zigbee.org>
[5] Das, A. et al., "Adaptive link-level error recovery mechanisms in Bluetooth," Personal Wireless Communications, 2000 IEEE International Conference on , 17-20 Dec. 2000 pp. :85~89
[6] Cheol-Hee Park et. al. "Design and implementation of error control algorithms for Bluetooth system: open-loop and closed-loop algorithms," Consumer Electronics, 2000. ICCE. 2000 Digest of Technical Papers. International Conference on , 13-15 June 2000, pp. 302~303
[7] Golmie, N., et. al., "Bluetooth adaptive frequency hopping and scheduling," Military Communications Conference, 2003. MILCOM 2003. IEEE , Volume: 2 , 13-16 Oct. 2003 pp. 1138~1142 Vol.2
[8] Cho-Hoi Chek, et. al., "On adaptive frequency hopping to combat coexistence interference between Bluetooth and IEEE 802.11 b with practical resource constraints," Parallel Architectures, Algorithms and Networks, 2004. Proceedings. 7th International Symposium on , 10-12 May 2004 pp. 391~396
[9] Cheol-Hee Park, et. al., "Coexistence mechanism based on adaptive frequency hopping for interference-limited WPAN applications," Signal Processing and Its Applications, 2003. Proceedings. Seventh International Symposium on, Volume: 1 , 1-4 July 2003pp. 269~272 vol.1
[10] Bin Zhen, et. al., "The analysis of coexistence mechanisms of Bluetooth," Vehicular Technology Conference, 2002. VTC Spring 2002. IEEE 55th , Volume: 1, 6-9 May 2002 pp. 419~423 vol.1

저자소개



문상국 (Sangook Moon)

1995년 연세대학교 전자공학사
1997년 연세대학교 전자공학석사
2002년 연세대학교 전자공학박사
2002.2~2004.2 하이닉스반도체 선
임연구원
2004.3 ~ 현재 목원대학교 정보

전자영상공학부 전임강사

※관심분야 : 디지털 회로설계, 암호용 프로세서 VLSI
설계, 센서네트워크보안